

# Los factores Delta y Gamma en las opciones financieras, como medida de riesgo en el mercado accionario colombiano. (Jun2015)

Autor: Gómez Rodríguez Juan Alberto<sup>1</sup> Guerrero González Julio Cesar<sup>2</sup> Carrillo Sandoval Nelson Fernando<sup>3</sup>  
Tutores: Martínez Patiño Manuel Andrés<sup>4</sup>

**Resumen**— El presente trabajo, se basa en el estudio de la aplicación de un mercado de opciones financieras usando como referencia a Colombia, para lo cual se tomaron los datos de la información histórica desde mayo de 2008 a la fecha, del índice Colcap, las 20 acciones que lo componen y su correspondiente futuro, con el fin de realizar la simulación de un mercado de opciones el cual no existe actualmente, y abarque tres periodos de tiempo (30, 60 y 90 días), por medio de la metodología Black and Scholes, calculando la primera y segunda derivada de su formula y así analizar el comportamiento del precio del activo subyacente de las variables ya referidas. Para esto se aplicó la metodología de simulación de Montecarlo, con el fin de hallar los respectivos precios strike, para el cálculo del procedimiento previamente descrito, y se aplicó análisis técnico tomando como base gráfica la herramienta informática Matlab.

**Palabras clave**—Black and Scholes, Delta, Gamma, Opciones Financieras, Riesgo, Simulación de Montecarlo, Volatilidad.

**Abstract**— This paper is based on the study of the application of a financial options market with reference to Colombia, for which data were collected historical information from May 2008 to date, the Colcap index, 20 shares comprising it and its corresponding future, in order to perform a simulation options market which there is currently, and covers three time periods (30, 60 and 90 days), by the Black and Scholes methodology, calculating the first and second derivatives of its formula and thus analyze the behavior of the price of the underlying asset of the variables already mentioned. For this the Monte Carlo simulation methodology was applied in

order to find the respective strike prices for the calculation of the previously described process, and technical analysis is applied based on the Matlab graphical software tool.

**Key Words**—Risk, Delta, Gamma, Black and Scholes, Monte Carlo Simulation, Volatility, Financial Options.

## 1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, los inversionistas obtienen ingresos de portafolio por medio de múltiples activos financieros, entre los que se incluyen títulos accionarios y bonos con diferente madurez. En el caso de los títulos accionarios, los rendimientos positivos se logran comprando barato y vendiendo caro, al igual que vía dividendos, de acuerdo con el movimiento del mercado; es decir, realizando ventas y compras en los momentos adecuados.

Sin embargo, en todas estas operaciones, existe la posibilidad de perder todo o parte del monto invertido derivado de una mala toma de decisiones. Afortunadamente, en Colombia a finales del siglo pasado, han aparecido en los mercados financieros otro tipo instrumentos enfocados a las estrategias de inversión, entre los cuales se encuentran los instrumentos derivados.

El valor de estos depende del precio de algún bien subyacente como son acciones, bonos, divisas, metales y bienes de consumo. La característica principal de los instrumentos derivados es que permiten participar en los mercados financieros de manera más flexible ya que con ellos se puede invertir a partir de una expectativa de mercado y adquirir un seguro contra movimientos adversos sobre los precios de los bienes subyacentes. Entre los instrumentos derivados es posible encontrar los futuros, los forwards, los swaps y las opciones.

Aunque existe gran interés por el análisis de todos los instrumentos del mercado de derivados, la presente investigación se centra en el estudio de las opciones, porque este mercado es aún inexplorado en el mercado Colombiano. Para ello se realizó un estudio enfocado a calcular el valor de las opciones y los coeficientes Delta y Gamma de estos instrumentos para una muestra de 20

<sup>1</sup>Estudiante del programa de Ingeniería Financiera de la Universidad Piloto de Colombia, cursando actualmente seminario de grado en riesgo de mercado.

<sup>2</sup>Estudiante del programa de Ingeniería Financiera de la Universidad Piloto de Colombia, cursando actualmente seminario de grado en riesgo de mercado.

<sup>3</sup>Estudiante del programa de Ingeniería Financiera de la Universidad Piloto de Colombia, cursando actualmente seminario de grado en riesgo de mercado.

<sup>4</sup>Docente del programa de Ingeniería Financiera de la Universidad Piloto de Colombia. Seminario en riesgo de mercado.

acciones que componen el índice Colcap y cotizan en la Bolsa de valores de Colombia.

Es así, que se busca evaluar el riesgo de los diferentes activos que componen el mercado accionario colombiano, a través de los factores de las opciones financieras (Delta y Gamma), con el fin de otorgar un criterio que brinde herramientas para la toma de decisiones de una inversión, en el corto plazo. Para ello, se describirá el funcionamiento, características y la relación existente entre el COLCAP, las acciones que lo componen, el mercado de futuros y las opciones financieras.

Una adecuada administración de los portafolios de inversión requiere tener presente los principales riesgos financieros que afectan el mercado de capitales, en especial el riesgo de mercado, el cual se define como la exposición del valor del portafolio a los cambios de precios de los activos financieros en el mercado (Moncada y Bello, 2009).

Actualmente, el mercado ofrece nuevos productos estructurados como las opciones financieras, las cuales tienen un comportamiento diferente a los productos tradicionales, de tipo no-lineal, creando la necesidad de contar con herramientas y metodologías matemáticas y estadísticas definidas propiamente para este tipo de productos derivados.

Dichos modelos deben cuantificar el riesgo de mercado de forma ajustada, teniendo en cuenta las particularidades y variables características de las opciones financieras, como son la volatilidad, el vencimiento, el precio del subyacente, entre otras.

El trabajo propuesto tiene como finalidad, otorgar alternativas distintas a los modelos de riesgo convencionales, que permitan analizar el comportamiento del riesgo de mercado en Colombia desde otra perspectiva, teniendo en cuenta que en este mercado no se ha desarrollado un mercado de opciones de manera profunda, el cual permita obtener mayor información y así brindar a los inversionistas herramientas para facilitar el análisis en la toma de decisiones orientadas a la mitigación del riesgo.

### ➤ *Apartados que constituyen el documento*

Este documento se divide en tres secciones: en la primera se hace una revisión teórica de las principales características de las opciones y de los diferentes coeficientes de medición del riesgo, así como un repaso por los antecedentes que se derivan de algunas investigaciones y trabajos que se han desarrollado respecto a la problemática a tratar; en la segunda parte se realiza un análisis del marco legal y la evolución del riesgo de mercado con respecto a los acuerdos de Basilea.

Por último, se plantean las metodologías de investigación y trabajo utilizadas (Montecarlo, Black and Scholes) para la

valoración de opciones y la respectiva evidencia empírica, en la que se destaca la muestra que se utilizó, la simulación realizada y el análisis de resultados, además de recomendaciones para el crecimiento del mercado de acciones en Colombia.

### ➤ *Hipótesis*

Es posible determinar la sensibilidad de los cambios de los precios de las acciones colombianas, a través de los factores de las opciones Delta y Gamma, y así obtener resultados aplicables para la toma de decisiones, aun cuando dicho mercado no este desarrollado.

### ➤ *Problema de Investigación*

¿Cómo pueden los factores de las opciones financieras, Delta y Gamma, contribuir para que la medición del riesgo en el mercado colombiano sea más precisa, y así los inversionistas cuenten con más argumentos para una adecuada toma de decisiones, y de esta manera contribuir al desarrollo de un mercado de opciones en Colombia?

## 2. MARCO REFERENCIAL (INCLUIR ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN, EL MARCO TEÓRICO Y EL MARCO CONCEPTUAL)

### • *Antecedentes del problema de investigación*

#### ➤ *¿Por qué no se ha desarrollado un mercado de opciones en Colombia?*

Colombia no ha sido ajena al desarrollo del mercado de derivados en el mundo. Si bien es cierto que no se cuenta con la liquidez y profundidad deseada, tomando como referencia otros mercados a nivel mundial en los cuales las negociaciones con este tipo de instrumentos poseen estructuras más robustas en cuanto a estos aspectos, de forma paulatina, estos instrumentos han venido tomando relevancia en el sistema financiero Colombiano.

Las normas que controlan el mercado de derivados en Colombia, pueden ser emitidas por entidades de carácter público como el Congreso de la República (quien expide la ley marco del mercado de valores), el Ministerio de Hacienda y Crédito Público (quien expide regulaciones que concretan las normas de la ley marco), la Superintendencia Financiera de Colombia (quien expide instrucciones para el cumplimiento de las normas del gobierno nacional) y el Banco de la República, y también, por entidades de carácter privado pero que han recibido la autorización del Estado para hacerlo, como por ejemplo, la BVC, la CRCC y el Autorregulador del Mercado de Valores (AMV).

La regulación que en materia de derivados tiene Colombia parte de la Ley Marco del Mercado de Valores, aunque hay que decir, que tal ley, la 965 de 2005, establece que los contratos derivados no tienen la calidad de título valor, por lo que gran parte de su tratamiento dista del de la mayoría de activos negociados en el sistema financiero Colombiano.

A pesar de no tener un alto grado de desarrollo, el mercado de derivados colombiano ha mostrado una dinámica interesante en los últimos años. Existen solo dos tipos de instrumentos, el de tasa de interés y el de tasa de cambio, y según estos se pueden encontrar diferencias marcadas en términos del desarrollo dentro del mercado de derivados del mismo.

En Colombia, el desarrollo de los mercados de derivados se ha hecho principalmente a través de mecanismos OTC<sup>5</sup>, pero estas herramientas se han concentrado casi que exclusivamente sobre las variaciones en la tasa de cambio, aunque este mercado aún se encuentra muy inexplorado.

Los principales agentes son entidades del sector financiero, sociedades comisionistas de bolsa, fondos de inversión y personas naturales. En menor medida participan algunos empresarios exportadores que buscan directamente coberturas de riesgo cambiario<sup>6</sup>.

El mercado de derivados OTC en Colombia revela que los agentes están más interesados en actuar como demandantes que como oferentes de los mismos<sup>7</sup>, lo cual impide un adecuado desarrollo de los derivados en el país.

Este patrón es atribuible a la ausencia de una reglamentación apropiada, así como al desarrollo de una estructura más robusta y eficiente que garantice volúmenes atractivos de estas transacciones; esta situación impide minimizar riesgos y costos.

Existen varias razones para la falta de desarrollo de este mercado, que se pueden resumir en: Carencia de un entorno en el que el perfeccionamiento de este tipo de instrumentos sea viable y seguro. Ausencia de índices de referencia en el mercado de contado, la falta de liquidez y profundidad del mismo y por último Falta de desarrollo en la estructuración de las entidades o entes encargados de dar pautas a los agentes del sistema financiero son algunos de los impedimentos al desarrollo de estos instrumentos.

<sup>5</sup>El mercado Over The Counter, OTC, es un sistema de cotización de valores donde los participantes negocian directamente entre ellos, sin la intermediación de una bolsa. Las operaciones se realizan a través de redes de cómputo o telefónicas que conectan entre sí a los agentes de todo el mundo (Hull, 2002)

<sup>6</sup>Clavijo, Sergio. "Estructura y Desarrollo del Mercado de Derivados en Colombia". Noviembre 30 de 2006. ANIF y DECEVAL. Edición 9.

<sup>7</sup>Córdoba, J. (2008) Guía Colombiana del mercado de valores. Recuperado el 11 de abril de 2015, en [http://colombiacapital.com.co/wp-content/files\\_mf/142178561306\\_Gu%C3%ADadelMercadoValores.pdf](http://colombiacapital.com.co/wp-content/files_mf/142178561306_Gu%C3%ADadelMercadoValores.pdf)

Dentro de la literatura actual, es posible encontrar diversos artículos publicados, referentes al Riesgo de Mercado, al igual que los principales modelos utilizados para su medición y la regulación definida a nivel local e internacional en torno a la temática.

A continuación se describen algunos apartes que hacen referencia a trabajos investigativos, los cuales se han enfocado desde varias perspectivas, en el estudio y análisis de la implementación de un mercado de opciones.

### • *Marco teórico*

Como resultado de la investigación realizada con base en la problemática propuesta, se tomó como base para analizar los antecedentes tanto prácticos como teóricos, alrededor de 12 documentos enfocados al desarrollo de estrategias que permitan el estudio y análisis de un mercado de opciones y estrategias de medición, de los cuales se tomaron cuatro que aportan de forma relevante al estudio de la presente investigación, dado que se enfocan de manera específica al estudio del desarrollo de un mercado de opciones, y a continuación se hace una descripción de los aspectos importantes encontrados en cada uno de ellos:

#### ➤ **Creación de un mercado de opciones estandarizadas en Colombia: justificación y propuesta para su implementación**

- ✓ ¿Por qué un mercado de opciones estandarizadas?
- ✓ ¿Cómo implementar un mercado de opciones estandarizadas en Colombia?

Durante los últimos años, se han venido concretando destacados avances que han hecho del mercado nacional un espacio cada vez más atractivo para la emisión y negociación de valores, así como para la inversión e incluso la especulación; hoy Colombia se ubica dentro de los países, que más garantías y alternativas ofrece para la realización de todo tipo de operaciones sobre valores<sup>8</sup>.

Sin embargo, es evidente que el mercado Colombiano, aún es demasiado joven, y por ende, existen varios puntos por mejorar. Se puede hablar desde aspectos propios de su desarrollo como los elevados niveles de concentración y el modesto número de emisores, o incluso, de la escasa

<sup>8</sup>Albarracín, E.I. & Villamil, F.A. (2015) Creación de un mercado de opciones estandarizadas en Colombia: justificación y propuesta de implementación. Tesis de maestría no publicada. Universidad EAN, Bogotá, Colombia. Recuperado el 05 de abril de 2015, de <http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/4626/AlonsoFerna%202013.pdf?sequence=5>

profundidad del mercado y los excesivos límites regulatorios. Pero hay un aspecto que en particular aún no termina de consolidarse en el país y es clave en el perfeccionamiento no sólo del mercado de valores, sino de todo el sistema financiero: El mercado de derivados estandarizados.

Mientras los derivados hagan parte de un mercado con un perímetro regulatorio ínfimo, unos inversionistas irresponsables y una infraestructura de mercado que no asegure el escenario ideal para su negociación, lo serán. Pero si por el contrario, se hace algo como lo que hasta el momento ha mantenido Colombia (un mercado controlado donde a pesar de limitar las ganancias se han reducido los riesgos), éste tipo de instrumentos y cualquier otro producto resultante del creativo ingenio de los financistas, será un hacedor de mejores condiciones para los mercados.

Así es que, al hablar de lo que hasta el momento han sido los derivados en Colombia, se encuentra que evidentemente, lo que se ha hecho ha sido acertado, pero también, que aún hay mucho camino por recorrer. Hace un momento se dijo que en el último quinquenio los derivados pasaron a ser vistos como instrumentos nocivos para los mercados, y ello ha sido, entre otras cosas, por la falta de estandarización de productos; lo cual, en Colombia, contrario a la gran mayoría, se ha venido haciendo de muy buena manera.

Sin embargo aun falta trabajar mucho en torno a este tema. Y es que apenas unos cuantos futuros hacen parte del sistema transaccional en Colombia (sobre la energía, la TRM, el índice COLCAP, la canasta de TES, las acciones de Ecopetrol, Preferencial Bancolombia y más recientemente, la de Pacific Rubiales, además de la inflación y la tasa IBR); todavía existen un sin número de instrumentos derivados que podrían hacer parte de esa categoría y que mantienen un altísimo volumen de negociación en el mercado mostrador (OTC), y entre ellos, algunos de los más importantes son las opciones. Si realmente queremos hacer de los derivados un potenciador del mercado de valores en Colombia, lo más pertinente es estandarizarlos.

Lo más parecido que se tiene a un mercado de opciones estandarizadas en Colombia, es lo que ha venido haciendo el Banco de la República. Al ser la máxima autoridad cambiaria, ha diseñado distintos mecanismos para la intervención del mercado del USDCOP, entre ellas, la emisión y subasta de opciones call y put que le permiten además de controlar la volatilidad del tipo de cambio, acumular y desacumular reservas internacionales. El problema de éste mercado, es que a pesar de manejar como subyacente un activo tan importante como el Dólar, es muy poco profundo. La emisión de estas opciones no sólo depende de ciertas condiciones ajenas a los interesados (como por ejemplo, que la TRM salga de una banda de más o menos el 4% respecto del promedio móvil de los últimos 20 días), sino que también, se encuentra limitada a un

cerrado grupo de instituciones: Los Intermediarios de Opciones Cambiarias (Banco de la República, 2011 - B).

Entonces, aunque hasta el momento se han logrado avances importantes, es momento de dar un paso clave hacia la consolidación: La creación formal de un mercado de opciones estandarizadas. Si se quiere hacer del mercado de valores nacional un referente de clase mundial, es necesario ofrecer nuevos productos que además de aumentar el portafolio de posibilidades de los inversionistas, que permitan una alineación con los estándares internacionales en la materia, mejorar la eficiencia, reducir los costos y ofrecer garantías que mitiguen, entre otros problemas, el riesgo de contraparte. Según lo fijado por el FSB, se esperaba que para finales de 2012 gran parte de las medidas establecidas respecto de los derivados OTC, hubiesen sido implementadas, por lo menos, en los países del G-20. ¿Por qué no unirse a ello? Sin duda, es una ocasión óptima de colocarse a la altura de los mercados de valores top del mundo.

Las ventajas que trae consigo un mercado organizado (bolsa) respecto del mostrador, son numerosas: por ejemplo, ofrecen un mercado secundario líquido, sin riesgo de incumplimiento, y además, dan dinamismo a la negociación, lo cual, reduce los costos de transacción (Bodie, Kane & Marcus, 2004); y aunque los defensores de las negociaciones OTC, argumenten que en la escena extrabursátil los inversionistas encuentran contratos a la medida de sus necesidades y expectativas, es claro que ese complicado equilibrio entre el desarrollo de los mercados y sus niveles de riesgo sistémico, es la prioridad.

En el caso particular de un mercado de opciones estandarizadas en Colombia, se proponen cinco aspectos fundamentales a tratar a la hora de crearlo. Ellos son, un programa de creadores del mercado, que garantice la liquidez; el establecimiento de un esquema de cupos de contraparte, que le dé transparencia a las operaciones; las características de los contratos a incluir, para así saber exactamente qué es lo que se va a negociar; el rol de la Cámara de Compensación y Liquidación, la cual tendrá la responsabilidad de eliminar el riesgo de contraparte; y la creación de una central de información, que permita concatenar todos los datos resultantes de las negociaciones de opciones tanto en el mercado bursátil como en el extrabursátil.

Atendiendo las exigencias del nuevo escenario global y las implicaciones que éste tiene en materia financiera, es evidente que el mercado de capitales en Colombia, aunque ha venido consiguiendo logros importantes, debe trabajar mucho aún para alinearse con las condiciones que ahora rigen los flujos de dinero y la inversión.

Es claro que para que el mercado Colombiano pueda consolidarse y hacerse fuerte a escala internacional, es necesario, entre otras cosas, ofrecer a los inversionistas productos e instrumentos que les permitan administrar de mejor manera sus portafolios, así como maximizar la

rentabilidad. Por supuesto, uno de los focos de actuación inmediatos al respecto, son los instrumentos derivados.

El mercado de derivados en Colombia apenas está empezando a desarrollarse, y por tanto, su potencial de crecimiento es altísimo. Por ahora, la gran mayoría de las negociaciones de éste tipo de instrumentos se concentra en el mercado mostrador, dejando así, en el bursátil, un pequeño pero creciente volumen de operaciones. Asumiendo que tras la más reciente crisis financiera, desde las directrices regulatorias se han establecido nuevos lineamientos en la materia.

Al respecto, se ha venido manejando de forma acertada un mercado de futuros, pero también, podría explorarse el tema de las opciones, las cuales, no pasan del escenario interbancario. Un programa de creadores del mercado, un esquema de cupos de contraparte, una CCL y una central de información, son variables, que eventualmente, deberían ser contempladas al momento de crear e implementar un mercado tan complejo como ese. Del que además, podrían obtenerse indicadores informativos clave como los de volatilidad, los cuales no sólo enriquecerían los análisis de los administradores de portafolios, sino que también, darían lugar a la creación de nuevos instrumentos de inversión, especulación y cobertura.

De cualquier manera, aquí lo importante pasa por entender y asumir que con la creación y ofrecimiento de nuevos productos y alternativas, como lo puede llegar a ser un mercado de opciones estandarizadas, el mercado de valores colombiano logrará dar pasos importantes hacia su plena consolidación, y de esa manera, ubicarse a la altura de las plazas financieras más importantes del mundo.

Dentro de la búsqueda realizada y los documentos encontrados y referenciados, no se ha evidenciado que se analice el riesgo de mercado en el sistema financiero colombiano, aplicado específicamente a opciones financieras, y que a través de un análisis profundo en esta temática se pueda establecer la asertividad de la medición del riesgo bajo los supuestos determinados por la normatividad colombiana.

Por lo tanto, se considera viable la investigación en el tema propuesto, como valor agregado para el mejoramiento del sistema de administración de riesgo de mercado que deben implementar las entidades del sector financiero, especialmente cuando cuentan con posiciones en derivados.

De esa manera, se plantea que la creación de un mercado de opciones estandarizadas, atendiendo las características específicas de una infraestructura bursátil robusta, además del perímetro regulatorio en el cual se desempeña, debería basarse en cinco elementos fundamentales. Ellos son, (1) un programa de creadores del mercado, que garantice la liquidez; (2) el establecimiento de un esquema de cupos de contraparte, que le dé transparencia a las operaciones; (3) las características de los contratos a incluir, para así saber exactamente qué es lo que se va a negociar; (4) el rol de la

Cámara de Compensación y Liquidación, la cual tendrá la responsabilidad de eliminar el riesgo de contraparte; y (5) la creación de una central de información, que permita concatenar todos los datos resultantes de las negociaciones de opciones tanto en el mercado bursátil como en el extrabursátil.

Y ya con el mercado en funcionamiento, se podría pensar en la creación de nuevas alternativas de gestión de portafolios, y por supuesto, de inversión. Una de ellas, es un índice de volatilidad. En los mercados financieros mundiales, cuando por ejemplo, existe alta incertidumbre, es normal ver una fuerte demanda por activos refugio como el oro, o también, encontrar mercados accionarios en los que los vendedores se apoderan de las negociaciones y los precios caen. Y ciertamente, los índices de volatilidad son una alternativa inmejorable para entender y valorar situaciones como ésta. Ellos saben incorporar, incluso, con cierto anticipo, dichas situaciones.

Con la información generada por la negociación de las opciones estandarizadas, se podría crear un índice similar al VIX de la CBOE. Y específicamente para el caso Colombiano, sería el índice accionario COLCAP la referencia, por lo que se podría hablar entonces del COLVIX, como la medida de volatilidad del mercado de valores colombiano.

### ➤ **Análisis de opciones reales: un enfoque Delta-Gamma para la evaluación de proyectos de inversión real**

El objetivo principal del artículo es complementar la información que se obtiene de la metodología del sistema de cuadrantes de Luehrman para el análisis de opciones reales. Esta información se obtiene aplicando la primera y segunda derivada parcial de la fórmula Black-Scholes, conocidas como delta y gamma.

En esta investigación, se utilizó la metodología sugerida por Timothy A. Luehrman<sup>9</sup> del VPNq, que puede resumirse como una relación beneficio-costos entre los rendimientos del proyecto y el valor presente de la inversión requerida.

La diferencia con la relación beneficio-costos tradicional radica en que el valor de la inversión se descuenta por el tiempo de vida de la opción. Para propósitos ilustrativos se puede considerar el ejemplo empleado por Luehrman, que se basa en un proyecto cuya inversión requiere 100 pesos, pero los flujos descontados a hoy son de 90 pesos, lo que daría un VPN de 10 pesos.

Con base en lo anteriormente descrito, se demuestra que, cuando al analizar opciones reales se utilizan estas

<sup>9</sup>A efectos de presentar esta propuesta metodológica, nos basamos en la proposición de Timothy A. Luehrman, detallada en su artículo "Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers" (1998).

derivadas para evaluar los resultados de una metodología específica, se generan datos adicionales que complementan la información con que cuenta el inversionista para tomar decisiones frente a proyectos de inversión en el sector real.

La información que se obtiene por medio de este enfoque ayuda a complementar los marcos metodológicos existentes, y a su vez asisten al inversionista en el proceso de identificación y análisis de opciones reales. Esto se propone con el fin de asistir a los inversionistas en la toma estratégica de decisiones, para que tengan como punto de partida los prospectos futuros de la inversión en un entorno de incertidumbre. Por último, y como línea de investigación ulterior, se pueden hacer análisis sectoriales sobre las implicaciones y la validez de esta metodología para la clasificación y categorización de proyectos de inversión real.

### ➤ Métodos paramétricos de medición del valor en riesgo, aplicados a opciones financieras sobre divisas

Actualmente, se conocen diversas metodologías matemáticas para medir el riesgo de mercado de productos financieros. Los modelos que cuantifican el riesgo de mercado de un portafolio que incluye opciones financieras deben estar diseñados propiamente para este tipo de derivados, así como ajustarse a la volatilidad propia de este tipo de productos.

A diferencia de la mayoría de productos financieros, las opciones tienen un comportamiento no lineal (García y Martínez, 2005), el cual no es contemplado en los supuestos de los principales modelos que miden el riesgo de mercado, por lo que se hace necesario establecer metodologías propias para este tipo de instrumentos y obtener así un valor en riesgo más ajustado a su comportamiento real. El modelo estándar establecido por la Superintendencia Financiera de Colombia es un modelo estático, que no refleja la realidad de los movimientos de mercado y para el caso de las opciones financieras no brinda información de calidad, por lo cual las entidades se ven obligadas a implementar modelos internos adicionales que les permitan gestionar sus inversiones de forma apropiada y con información más ajustada a la realidad, especialmente cuando se tienen posiciones en instrumentos derivados, haciendo que los procesos de monitoreo y control sean más operativos e ineficientes.

Es por eso que se busca por medio de este artículo, analizar los métodos paramétricos para la medición del riesgo de mercado para opciones financieras, tales como Aproximación Delta-Gamma, Aproximación cuadrática del precio del derivado, y Expansión de Cornish y Fisher.

Para la aplicación de las metodologías que estiman el valor en riesgo del portafolio conformado por opciones, se deben hallar los parámetros de Delta ( $\delta$ ) y Gamma ( $\gamma$ ). A partir de la ecuación de valoración de una opción call, se pueden

hallar las sensibilidades de la opción a través de las derivadas parciales (Jorion, 2007); la primera derivada corresponde a Delta ( $\delta$ ), e indica el cambio en el precio de la opción ante cambios en el precio del activo subyacente; así mismo, se toma la segunda derivada parcial de la fórmula de Black-Scholes para obtener Gamma ( $\gamma$ ), la cual indica el cambio en Delta ( $\delta$ ) cuando se presentan cambios en el precio del activo subyacente

### Metodología Delta-Gamma

Luego de contar con los parámetros de sensibilidad Delta ( $\delta$ ) y Gamma ( $\gamma$ ) para la opción seleccionada, se aplicó la metodología Delta-Gamma para la estimación del valor en riesgo para 10 días de la posición, según sus características. Se tomó la siguiente fórmula:

$$VaR = |\Delta V^*| = (\delta Z \alpha \sigma \sqrt{T} - \frac{1}{2} \gamma (Z \alpha \sigma)^2 T) * N$$

Donde,

- N corresponde a la cantidad de opciones de la posición, en este caso 100,000 opciones.

-  $\alpha$  corresponde al nivel de significancia tomado, en este caso del 1%.

-  $Z\alpha$  corresponde al  $\alpha$ -percentil de la distribución normal estándar, con parámetros (0,1). En este caso es igual a (-2,33).

Para la estimación se utilizó una volatilidad diaria, tomando el último dato calculado por la metodología EWMA, el resultado obtenido fue de un valor en riesgo de - \$4.899.522, correspondiente al 39,95% de la posición total de \$12.264.373. El VaR calculado muestra que con un nivel de confianza del 99% se espera que la máxima pérdida obtenida a 10 días con la posición inicial en opciones sea de \$4.899.522.

### Metodología Cornish-Fisher

La aplicación de la metodología Cornish-Fisher para el cálculo del valor en riesgo se realizó con base en los parámetros Delta ( $\delta$ ) y Gamma ( $\gamma$ ) ya calculados, para luego estimar los tres momentos de variaciones del portafolio (posición sobre las opciones descritas), y de esta manera calcular el percentil requerido para la distribución de estas variaciones, obteniendo un valor en riesgo.

Se calcularon los primeros tres momentos a partir de los datos ya conocidos utilizando las siguientes fórmulas:

$$E(\Delta P) = \frac{1}{2} S^2 \gamma \sigma^2$$

$$E[(\Delta P^2)] = S^2 \delta^2 \sigma^2 + \frac{3}{4} S^4 \gamma^2 \sigma^4$$

$$E[(\Delta P^3)] = \frac{9}{2} S^4 \delta^2 \gamma \sigma^4 + \frac{15}{8} S^6 \gamma^3 \sigma^6$$

### Aproximación cuadrática

Al igual que en el modelo Delta-Gamma, se utilizó el dato de volatilidad diaria estimado bajo la metodología EWMA. Los resultados obtenidos se relacionan a continuación:

Primer momento	$E(\Delta P)$	0.05494
Segundo momento	$E[(\Delta P)^2]$	39.14573
Tercer momento	$E[(\Delta P)^3]$	19.35273

En la aplicación de las metodologías anteriores, para la aproximación cuadrática se tiene en cuenta la estimación de Delta ( $\delta$ ) y Gamma ( $\gamma$ ) para calcular el valor en riesgo del portafolio compuesto por 100,000 opciones sobre la tasa de cambio peso-dólar. En este caso, se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$VaR_{1-\alpha} = (\sigma_{\Delta p} *) Z_{\alpha} \sqrt{T} - (\mu_{\Delta p} *) T$$

Donde,

$$\mu_{\Delta p} * = \frac{1}{2} S^2 \gamma \sigma^2$$

$$\sigma_{\Delta p} * = \sqrt{\delta^2 S^2 \sigma^2 + \frac{3}{4} S^4 \gamma^2 \sigma^2 - (\mu_{\Delta p} *)^2}$$

Tomando un  $\alpha=1\%$ , y a partir de los cálculos realizados, se estimó el valor en riesgo a 10 días, obteniendo los siguientes resultados:

Media $\mu_{\Delta p}^*$	0.05494	VaR 10 días	-4,661.589
Volatilidad $\sigma_{\Delta p}^*$	6.26197	%VaR 10 días	38.0092%

Las metodologías propuestas en este trabajo son más adecuadas que los modelos tradicionales utilizados para la medición del riesgo de mercado, cuando son aplicados sobre opciones financieras, ya que involucran en su desarrollo las sensibilidades de Delta ( $\delta$ ) y Gamma ( $\gamma$ ), como principales medidas de riesgo de las opciones. De igual forma, no requieren planteamientos complejos, permitiendo una fácil aplicación y entendimiento de los resultados, tanto por los ejecutores como por la administración de una entidad.

A través del uso de aproximaciones cuadráticas para la medición del valor en riesgo en portafolios con instrumentos no lineales, el resultado obtenido es mucho más efectivo para determinar la relación entre los valores de los activos subyacentes y los factores de riesgos a los que están expuestos. Con las metodologías de Delta-Gamma y la aproximación cuadrática, es posible obtener resultados precisos sin la necesidad de realizar complejos e intensivos cálculos, sino a través del uso de los parámetros descritos. Así mismo, es posible implementar estas metodologías tanto a nivel de un portafolio con varios activos subyacente, como para un solo instrumento financiero.

### ➤ Control de riesgo en portafolios mediante el uso de opciones sobre modelos de volatilidad estocástica

La razón de este trabajo se debe en parte al análisis de series financieras cuando presentan volatilidad estocástica, sin embargo la utilidad de dicho análisis se debe al uso que se pueda dar de los pronósticos obtenidos mediante este análisis. En este caso, estos resultados se utilizarán para el cálculo del valor en riesgo o metodología VaR.

Usando como base modelos de volatilidad estocástica sobre las series financieras estudiadas se busca dar mayor énfasis a la importancia del modelaje de las variables dentro del estudio del manejo del riesgo de mercado. Como punto de comparación sobre el nivel de riesgo se usó la metodología Value at Risk para explorar en los diferentes portafolios como se percibía el riesgo en su interior, debido al modelaje con volatilidad estocástica, y la inclusión de opciones. El trabajo muestra como puede ser controlado el nivel de riesgo al utilizar una estrategia de cubrimiento dinámico dentro del portafolio, pero sobre todo muestra cómo debido a los modelos de volatilidad estocástica puede cambiar radicalmente la percepción del riesgo al interior del portafolio.

Fue posible observar, que existe una gran diferencia en la metodología VaR cuando se utilizan modelos con volatilidad estocástica. Las diferencias respecto a los modelos de volatilidad y correlación constantes pueden ser enormes. De igual forma se evidenció como la inserción de la opción, en estrategia de cobertura Delta de forma dinámica reduce sustancialmente el nivel de riesgo del portafolio.

### • Marco conceptual

En torno al tema de investigación propuesto, como lo indica su nombre, es una elaboración conceptual del contexto en el cual se considera el tema. En este caso, está compuesto de referencias a sucesos y situaciones pertinentes, a resultados de investigación, definiciones,

supuestos, entre otros. Se podría decir que este marco es una teorización, sin grandes pretensiones de consistencia lógica entre las proposiciones que la componen, aún si utiliza conceptos de alguna teoría existente.

### ➤ *Futuros sobre índices bursátiles*

Un índice sobre acciones sigue los cambios en el valor de una cartera hipotética de acciones. La ponderación de las acciones de una empresa en la cartera iguala la proporción de la cartera invertida en esas acciones. Los aumentos porcentuales en el valor del índice durante un pequeño intervalo de tiempo se definen normalmente como el porcentaje en que se incrementa el valor total de las acciones incluidas en la cartera hipotética en este momento. Los dividendos en metálico normalmente se ignoran de forma que el índice sigue las pérdidas y ganancias de capital de la inversión de la cartera.

Aunque la cartera hipotética de acciones permaneciese fija, las ponderaciones asignadas a cada acción en la cartera no permanecen constantes. Si el precio de las acciones en la cartera crece más rápidamente que otros, automáticamente se les da una mayor ponderación. Una consecuencia de esto es que, si la ponderación de las acciones en la cartera es especificada como constantes a lo largo del tiempo, la cartera hipotética cambiara cada día.

Algunos índices se construyen a partir de una cartera hipotética consistente en una acción de cada empresa incluida. Las ponderaciones asignadas a las acciones son entonces proporcionales a sus precios de mercado, haciendo ajustes cuando hay ampliaciones totalmente liberadas. Otros índices son contruidos de forma que las ponderaciones sean proporcionales a la capitalización del mercado. La cartera subyacente se ajusta entonces automáticamente reflejando ampliaciones totalmente liberadas, pago de dividendos de las acciones, y nuevas ampliaciones de capital.

### **Precios de los futuros sobre índices de precios de acciones**

Un índice de acciones puede considerarse como el precio de un valor que pagase dividendos. El valor es la cartera de acciones subyacentes al índice y los dividendos pagados por el valor son los dividendos que habría recibido el propietario de esta cartera. Normalmente se supone que los dividendos proporcionan un rendimiento conocido en lugar de una cantidad monetaria conocida. Si  $q$  es la tasa de dividendo, el precio del futuro es igual a:

$$F_0 = S_0 e^{(r-q)T}$$

### **Factores Determinantes de los precios de las opciones**

Hay seis factores que determinan el precio de una opción sobre acciones:

1. El precio actual de las acciones
2. El precio de ejercicio
3. El tiempo hasta el vencimiento
4. La volatilidad el precio de las acciones
5. El tipo de interés libre de riesgo
6. Los dividendos esperados durante la vida de la opción

### ➤ Metodologías de trabajo para la investigación

A continuación se hace una breve descripción de las metodologías de trabajo utilizadas en la implementación de la simulación del mercado de opciones anteriormente descrito:

#### - **Método de Monte Carlo**

El método de Monte Carlo o simulación cruda, es la generación de números aleatorios u observaciones de una variable aleatoria uniforme, en general se hace en el intervalo  $[0,1]$ . Estos números son seleccionados de manera que cada uno de ellos tenga igual probabilidad de salir, sin tener en cuenta cuantas veces haya salido<sup>10</sup>.

En cuanto a la simulación de Montecarlo para el caso de un subyacente cualquiera, el proceso que se debe desarrollar es multiplicar el valor anterior de la simulación, siendo  $ST$  la primera vez la última cotización del subyacente por

$$ST(t) = ST(t-1) * (1 + \sim * (\rho))$$

$\rho$  = Volatilidad Diaria

$\sim$  = Aleatorio Normal

Se toma un aleatorio normal porque la teoría indica que los rendimientos de cualquier subyacente son normales. De esta forma se crea un recorrido aleatorio para el subyacente. Por este motivo se trata de una simulación de Montecarlo discreta ya que se simula la cotización de cada uno de los días.

#### - **Métodos particulares para variables aleatorias no uniformes**

Variables aleatorias con distribución Normal

Dada la importancia para la estadística de las variables aleatorias con distribución normales, se aplicó un desarrollo

<sup>10</sup>Carrasco, H. (s.f). Simulación, algunos métodos y aplicaciones. Recuperado el 11 de abril de 2015, en <http://www.ccee.edu.uy/jacad/2012/x%20area%20y%20mesa/METO DOS%20CUANTITATIVOS/Mesa%202/1-Simulacion,%20algunos%20metodos%20y%20Aplicaciones.pdf>



de varias técnicas para la simulación de este tipo de variables aleatorias.

Se sabe que si  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$  por tanto se puede decir que  $X = \sigma Z + \mu$ , donde  $Z \sim N(0, 1)$ . Por esta simple relación es suficiente ver métodos para generar variables aleatorias normales estándar,  $N(0; 1)$ .

Usando teorema central del límite

Usando teorema central del límite frecuentemente se encontró la distribución normal, y esto es la base de mucha de la teoría estadística; la idea será usar estos resultados para simular variables aleatorias normales.

Por ejemplo, se puede simular  $n$  variables aleatorias independientes, con distribución

$$U[0, 1], U_1, U_2, \dots, U_n, \text{ y sea } S = \sum_{i=1}^n U_i$$

Por el teorema central del límite, cuando  $n \rightarrow \infty$ , la distribución de  $S$  tiende a una normal. En la práctica es posible establecer que para valores finitos de  $n$ , se tiene que  $S$  tiene una distribución aproximadamente normal.

El problema que surge es ¿cuál sería un  $n$  mínimo desde el cual sea posible decir que la aproximación es aceptable? Si  $n = 2$  es inaceptable, pues  $S$  tiene distribución triangular. Desde  $n = 3$  en adelante  $S$  tiene una agradable forma de campana, el resultado para el valor  $n = 12$  es de una aproximación aceptable, y como  $E(U_i) = 1/2$  y  $\text{Var}(U_i) = 1/12$ , tenemos que  $S$  tiene distribución aproximadamente  $N(6, 1)$ , de donde  $Z = S - 6$  tendrá distribución  $N(0, 1)$ .

Una implementación en R de este método para generar  $m$  observaciones de  $Z$  es:

```
Norm_tcl ← function(m)
  z ← rep(0,m)
  for(i in 1:m) {
    u ← runif(12);
    z[i] ← sum(u)-6;
  }
  return(z)
```

Claramente este método, además de ser aproximado, es un tanto lento, ya que para cada simulación de  $N$  se necesita simular doce uniformes.

## - Valoración de opciones sobre acciones: el modelo Black-Scholes<sup>11</sup>

A principios de los setenta, Fischer Black, Myron Scholes y Robert Merton hicieron una contribución fundamental en la validación de opciones sobre acciones. Esta ha supuesto el desarrollo de lo que se ha conocido como el modelo Black-Scholes. Este modelo ha tenido una enorme influencia en la forma en la que los operadores de mercado valoran y realizan coberturas con opciones. También ha sido una pieza clave en el crecimiento y éxito de la ingeniería financiera en los años ochenta y noventa del siglo XX.

Un modelo de valoración de opciones sobre acciones debe hacer varios supuestos sobre como evolucionaran los precios de las acciones a lo largo del tiempo. ¿Cuál es la distribución de probabilidad para el precio dentro de un día, una semana o de un año?

El supuesto subyacente al modelo Black-Scholes es que en ausencia de dividendos el precio de las acciones sigue con una caminata aleatoria. Esto significa que en cambios porcentuales en el precio de las acciones es un periodo corto de tiempo siguen una distribución normal.

$\mu$ : el rendimiento esperado de las acciones  
 $\sigma$ : la volatilidad del precio de las acciones

El porcentual medio en el periodo  $\delta t$  es  $\mu \delta t$ . La desviación estándar del cambio porcentual es  $\sigma = \sqrt{\delta t}$ . El supuesto subyacente al modelo Black-Scholes es, por tanto

$$\frac{\delta S}{S} \sim \varphi(\mu \delta t, \sigma \sqrt{\delta t})$$

Donde  $\delta S$  es el cambio en el precio de la acción,  $S$ , en el periodo  $\delta t$  y  $\varphi(m,s)$  denota una distribución normal con media “ $m$ ” y desviación estándar “ $s$ ”. El modelo de Black-Scholes se basa en el supuesto, de que los precios de las acciones siguen lo que se conoce como distribución lognormal, la cual se explicara a continuación:

La distribución lognormal

Puede demostrarse que el supuesto de paseo aleatorio implica que el precio de las acciones en cualquier momento del futuro sigue lo que se conoce como una distribución lognormal. Mientras una variable con distribución normal puede tomar valor positivo o negativo, una variable distribuida lognormalmente solo puede ser positiva. Una distribución normal es simétrica; una distribución lognormal no lo es, siendo la media, la mediana y la moda todas ellas diferentes.

Una variable con una distribución lognormal tiene la propiedad que su logaritmo neperiano está distribuido normalmente. El supuesto de Black-Scholes para los precios de las acciones implica por tanto que  $\ln St$  es normal donde  $St$  es el precio de las acciones en un tiempo futuro  $T$ , puede demostrarse que la media y la desviación estándar de  $\ln St$  son:

<sup>11</sup>Hull, J.C. (2009) Introducción a los mercados de futuros y opciones (4ta Ed.). Madrid, España: Pearson – Prentice Hall.

$$\ln S_0 + \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T$$

$$\sigma \sqrt{T}$$

Donde  $S_0$  es el precio actual de las acciones. Podemos expresar este resultado como:

$$\ln S_T \sim \mathcal{N} \left[ \ln S_0 + \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T, \sigma \sqrt{T} \right]$$

El valor esperado o valor medio de viene dado por

$$E(S_T) = S_0 e^{\mu T}$$

Esto concuerda con la definición de  $\mu$  como la tasa de rendimiento esperado. Puede demostrarse que la varianza de  $S_t$ ,  $\text{var}(S_t)$ , viene dada por:

$$\text{var}(S_T) = S_0^2 e^{2\mu T} (e^{\sigma^2 T} - 1)$$

Y se demuestra que:

$$\ln \frac{S_T}{S_0} \sim \mathcal{N} \left[ \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T, \sigma \sqrt{T} \right]$$

Cuando  $T=1$ , la expresión  $\ln$  (es el rendimiento compuesto continuo proporcionado por las acciones en un año la media y la desviación estándar del rendimiento compuesto continuo dentro de un año son  $\mu$ - respectivamente.

#### - Supuestos del modelo Black-Scholes

- El comportamiento del precio de las acciones corresponde al modelo lognormal con  $\mu$  y  $\sigma$  constantes.
- No hay coste de transacción o impuestos. Todos los activos financieros son perfectamente divisibles.
- No hay dividendos sobre las acciones durante la vida de la opción.
- No hay oportunidades de arbitraje libres de riesgo.
- La negociación de valores financieros es continua.
- Los inversores pueden prestar o pedir prestado al mismo tipo de interés libre de riesgo.

- El tipo de interés libre de riesgo a corto plazo, es constante.

Las fórmulas de Black-Scholes para los precios de opciones Europeas de compra y de venta sobre acciones que no pagan dividendos son:

$$c = S_0 N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2)$$

$$p = X e^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/X) + \left( r + \frac{\sigma^2}{2} \right) T}{\sigma \sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0/X) + \left( r + \frac{\sigma^2}{2} \right) T}{\sigma \sqrt{T}} = d_1 - \sigma \sqrt{T}$$

La Función  $N(x)$  es la función de distribución de probabilidad para una variable normal estandarizada. En otras palabras, es la probabilidad de que una variable aleatoria con una distribución normal estándar, sea menor que  $x$ .

#### ➤ Valor de una opción<sup>12</sup>

El elemento primordial para operar y comerciar con opciones de forma exitosa radica en tener una noción clara de los diversos factores que determinan la prima o el precio de una opción, pues finalmente es lo que se negocia en los mercados de opciones.

El precio de una opción depende de los siguientes factores: el valor actual del activo, la fecha de vencimiento, la volatilidad y los tipos de interés. Otro factor que también suele afectar el valor de una opción es el dividendo a pagar, aunque éste sólo aplica para opciones sobre acciones.

Para cuantificar los cambios en el precio de una opción debido a estos factores se han definido algunas tasas de cambio (ratios), las cuales se denominan con letras griegas: delta (relación con el precio del subyacente), gamma (riesgo), theta (relación con el plazo de vencimiento), vega que en realidad no es una letra griega, o kappa o “tau” (volatilidad) y rho (relación con el tipo de interés).

Es importante notar que estos elementos interactúan de forma complementaria, es decir, el valor de una opción puede ser afectada de forma positiva por los cambios en el precio del activo y de forma negativa por la volatilidad, por ejemplo.

<sup>12</sup>Opciones (s.f.). Recuperado el 11 de abril de 2015, en [http://invderivados.com/opciones/isp\\_opc05.html](http://invderivados.com/opciones/isp_opc05.html)

### - Valor del activo subyacente (delta)<sup>13</sup>

El precio del activo subyacente es el factor que incide de manera más importante sobre el valor de una opción, e influye de manera directa, aunque no igual, sobre él:

- Según aumente el precio del activo, el precio de una opción call aumentará y el de una put bajará.
- Según disminuya el precio del activo, el precio de la opción call bajará y el de la put subirá.

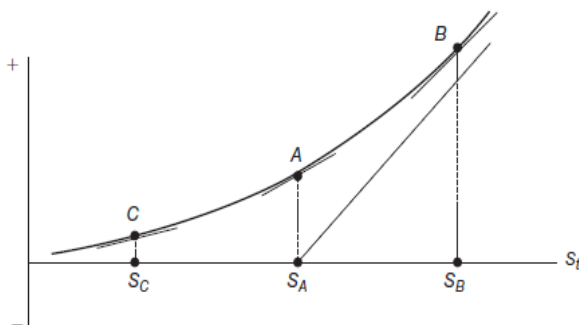
A la tasa que indica la relación entre los cambios de precio del activo subyacente y de la opción se le denomina delta. Específicamente, delta representa el cambio que tendrá el precio de la opción por cada cambio unitario (\$1) en el precio del activo subyacente.

Conforme una opción se mueva para estar dentro del dinero, delta aumentará hasta tener una correspondencia uno a uno con el subyacente, aunque nunca podrá ser mayor a 1 (para una opción call) ni menor a -1 (para una opción put). Cuando la opción esté en el dinero, el valor absoluto de delta será igual a 0.5, y tenderá a cero cuando se mueva para estar fuera del dinero.

Mientras mayor sea el valor absoluto de delta, mayor será el impacto que los cambios de precio del activo tendrán sobre la opción, aunque a su vez delta tenderá a cambiar lentamente. Para aquellas opciones en el dinero, delta es insensible a los cambios en la volatilidad y la fecha de vencimiento, pero no tanto para aquellas dentro o fuera del dinero: al reducirse el plazo de la opción (al acercarse la fecha de vencimiento) o al disminuir la volatilidad, el delta de las opciones dentro del dinero se acercará a 1.0 (para las call) y a -1.0 (para las put), y el delta de las opciones fuera del dinero se acercará a 0.0.

Delta es:

- Positivo para las opciones call largas y put cortas.
- Negativo para las opciones put largas y call cortas.



Delta El valor Delta ( $\Delta$ ) describe la sensibilidad de la prima frente a variaciones en el tipo de cambio  $S$ , o sea, es igual al cociente de la variación del valor teórico de la opción entre la variación del tipo de cambio de la divisa subyacente. El hecho de tener un cociente de variaciones implica que Delta se expresa como una derivada, es decir:

$$\Delta = \frac{\partial C}{\partial S}$$

Y en el caso especial de una opción de compra:

$$\Delta = e^{-R(T-t)} N(d_1)$$

Obsérvese que la Delta puede ser interpretada como la pendiente de una curva que relacione el precio del "call" con el tipo de cambio; además, el término  $N(d_1)$  expresa la probabilidad de que la opción se encuentre dentro del dinero a su vencimiento.

En general, el valor absoluto de Delta puede ser interpretado en este sentido, ya sea para opciones de compra o venta. De hecho, la sensibilidad de una opción respecto a variaciones en el tipo de cambio será mayor mientras más cercano esté el precio de ejercicio a la tasa "spot".

La Delta es utilizada ampliamente por los operadores como un indicador de cobertura, el caso usual se da cuando un agente vende opciones de venta de un activo o futuro, en este caso el emisor de la opción debe cubrirse, es decir, debe mantener en su portafolio un porcentaje del activo subyacente para eliminar las posibles pérdidas que se darían en caso de que la opción de venta fuese ejercida.

Para este caso es útil tener presente que si un portafolio de valor  $\Pi$  consta de  $n$  activos contingentes, donde el  $k$ -ésimo activo se tiene en una proporción a  $k$ , entonces la Delta del portafolio es una combinación de los deltas respectivos de cada componente.

$$\Delta = \sum_{k=1}^n a_k \Delta_k$$

Donde  $\Delta_k$  corresponde a la Delta del  $k$ -ésimo activo contingente.

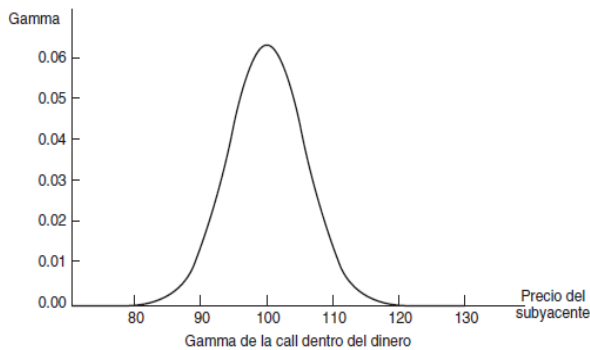
<sup>13</sup>Opciones (s.f.). Recuperado el 11 de abril de 2015, en [http://invderivados.com/opciones/isp\\_opc05.html](http://invderivados.com/opciones/isp_opc05.html)

### - El riesgo (gamma)<sup>14</sup>

El factor riesgo, o gamma, relaciona los cambios en la delta de una opción según varíe el precio del activo subyacente. Específicamente, el valor gamma refleja el cambio en delta por cada cambio unitario (\$1) en el precio del activo subyacente.

Un valor alto de gamma indica que variaciones ligeras en el precio del activo harán que delta cambie de forma sensible. Gamma siempre es positivo para las posiciones largas (de ambas opciones, call y put), y negativo para las posiciones cortas. Un gamma positivo significa que el delta de las opciones call largas se hará más positivo (hacia 1.0) cuando el precio del activo suba, y menos positivo (hacia 0.0) cuando baje, y que el delta de las opciones put largas se hará más negativo (hacia -1.0) cuando el precio del activo baje y menos negativo (hacia 0.0) cuando suba. Con las posiciones cortas sucede lo contrario.

Como el cambio en delta es mayor para las opciones en el dinero y se reduce conforme la opción se mueva para estar más dentro del dinero o fuera del dinero, gamma adquiere un valor máximo cuando la opción está en el dinero o cerca del dinero, y tiende a cero conforme la opción se mueva para estar más dentro del dinero o fuera del dinero (conforme delta se aproxime a 1.0 o -1.0) porque en este caso delta no cambiará mucho con el precio del subyacente.



El valor Gamma es la razón de cambio de Delta al variar el precio del subyacente S, en términos matemáticos:

$$r = \frac{\partial \Delta}{\partial S}$$

Más específicamente, en el caso de una opción de compra:

$$r = \frac{\partial^2 C}{\partial S^2}$$

$$r = \frac{\partial^2 P}{\partial S^2}$$

Gamma describe la sensibilidad de la Delta, o sea, que tan rápido se incrementa o decrece la Delta de la opción al variar el precio del subyacente. Cuando se realizan coberturas utilizando las llamadas estrategias Delta-neutral, es muy útil tener una idea de la sensibilidad de la Delta, ya que si Gamma es pequeño, quiere decir que la Delta cambia despacio y los ajustes para mantener la cobertura Delta-neutral no tendrán que ser frecuentes. En el caso contrario, esto implica que el no efectuar a menudo ajustes en la estrategia de cobertura es altamente arriesgado.

Obsérvese que al efectuar el cálculo explícito:

$$r = \frac{N'(d_1)e^{-R(T-t)}}{S\sigma\sqrt{T-t}} = \frac{\partial^2 C}{\partial S^2} = \frac{\partial^2 P}{\partial S^2}$$

Osea, Gamma mide la variación de N (d<sub>1</sub>) respecto a variaciones de S.

### - La fecha de vencimiento (theta)<sup>15</sup>

La fecha de vencimiento de una opción es un factor importante para determinar su precio.

Previamente se explicó que la prima incluye un valor temporal que disminuye con el transcurso del tiempo, y que además declina con rapidez al aproximarse la fecha de vencimiento:

La tasa de cambio theta mide esa reducción de tiempo, esto es, theta registra la variación o sensibilidad de la prima al transcurso del tiempo. Específicamente, theta estima cuánto se reduce el valor teórico de una opción cuando transcurre un día y no se produce un movimiento, ya sea en el precio del activo o en la volatilidad.

En igualdad de circunstancias, una opción a largo plazo tiene un valor temporal mayor que una opción a corto plazo. Así, theta es muy pequeña para opciones a largo plazo y aumenta rápidamente al acercarse la fecha de vencimiento. Esto puede entenderse al observar que mientras mayor sea el tiempo disponible, mayor será la oportunidad de que una opción termine dentro del dinero, pero la probabilidad de que la opción llegue a, o se mantenga en una posición redituable, se reducirá al aproximarse la fecha de vencimiento.

Como la reducción del tiempo disponible es favorable para el emisor de una opción, una posición corta (sea de una opción call o put) resulta en una theta positiva. A su vez, para una posición larga (sea de una opción call o put) theta será negativa, pues expresa la pérdida diaria del valor

<sup>14</sup>Opciones (s.f.). Recuperado el 11 de abril de 2015, en [http://invderivados.com/opciones/isp\\_opc05.html](http://invderivados.com/opciones/isp_opc05.html)

<sup>15</sup>Opciones (s.f.). Recuperado el 11 de abril de 2015, en [http://invderivados.com/opciones/isp\\_opc05.html](http://invderivados.com/opciones/isp_opc05.html)

temporal. Por ejemplo, una theta de -0.2 le indica al titular que la opción pierde \$0.20 al día.

Theta tiene su valor más alto para las opciones en el dinero porque es el punto en el que el valor temporal es mayor y por ende tiene un mayor potencial de fluctuación al acercarse la fecha de vencimiento, y gradualmente disminuye para las opciones dentro y fuera del dinero. Entonces, conforme se aproxime la fecha de vencimiento de una opción, theta aumentará para las opciones en el dinero y disminuirá para aquellas dentro o fuera del dinero.

#### - **La volatilidad (vega)**<sup>16</sup>

La volatilidad de un activo subyacente podría definirse como el cambio de valor del activo debido al transcurso del tiempo.

Mientras más alta sea la volatilidad, más alto será el precio de la opción. Esto se debe a que una alta volatilidad motiva fluctuaciones amplias en el precio del subyacente y eso aumenta la posibilidad de que una opción se vuelva redituable al llegar su fecha de vencimiento.

Sin entrar en mucho detalle, puede decirse que existen dos formas para calcular la volatilidad: a partir de datos históricos (volatilidad histórica) o a partir de las primas actuales (volatilidad implícita).

La volatilidad histórica puede obtenerse por medir la desviación estándar de los precios de cierre del activo subyacente en los últimos 30 días. Esta volatilidad histórica se utiliza para determinar el valor justo de una opción; sin embargo, como las opciones raramente se negocian a un valor justo en los mercados abiertos, normalmente se emplea la volatilidad implícita.

La tasa vega mide el cambio de precio de una opción debido a la volatilidad o variabilidad del activo subyacente. Específicamente, vega registra el cambio en el precio de una opción por cada cambio unitario porcentual (1%) en la volatilidad.

Para una opción en el dinero, vega es más alto cuando la volatilidad es mayor o cuando el plazo para la fecha de vencimiento es mayor. Como la volatilidad sólo afecta al valor temporal de una opción, y dado que en cualquier momento antes del vencimiento el valor temporal es mayor cuando la opción está en el dinero y declina conforme el precio del activo subyacente se aleja del precio de ejercicio, vega sigue al valor temporal, es decir, vega es mayor para las opciones en el dinero, y disminuye gradualmente para las opciones dentro y fuera del dinero. Esto significa que los cambios en la volatilidad provocan que el valor de las opciones en el dinero tenga el mayor cambio.

Conforme la volatilidad del activo subyacente aumente, la posibilidad de que la opción se coloque dentro del dinero será mayor y por ende la prima de la opción también deberá ser más alta, y viceversa. Dicho de otra forma, mientras más aumente la expectativa de incremento en la volatilidad futura, el precio de ambas opciones, call y put, subirá. Así, una volatilidad o vega alta resulta en precios más altos porque una volatilidad alta le da a la opción una mayor oportunidad de terminar dentro del dinero.

Entonces, vega mide el efecto de la volatilidad sobre el valor temporal y siempre se expresa como un número positivo para las posiciones largas (de ambas opciones, call y put), y negativo para las posiciones cortas. Una vega positiva indica que el valor de una opción sube al aumentar la volatilidad, y baja al disminuir. Lo contrario ocurre con un vega negativo: el valor de una opción baja al aumentar la volatilidad, y sube al disminuir.

Vale la pena mencionar que al igual que theta, vega no es particularmente adecuada para predecir el valor de opciones individuales, sino que es más útil para medir el cambio en el valor de un portafolio como respuesta a cambios en la volatilidad.

#### - **La tasa de interés (rho)**<sup>17</sup>

Un alza en las tasas de interés motiva que las opciones call aumenten de precio y que las opciones put bajen de precio. La tasa rho expresa el cambio en el precio teórico de una opción debido al cambio porcentual unitario (1%) en las tasas de interés prevalecientes. Así, un rho de 0.03 significa que el valor teórico de una prima call subirá 3% y que el de una put bajará 3%.

Los valores son teóricos porque las tasas de interés en realidad tienen un efecto mínimo sobre el precio, pues lo que en última instancia lo determina es la oferta y demanda. Así, el inversionista de largo plazo que opere con opciones en términos generales puede ignorar este factor.

El rho es:

- Positivo para las opciones call largas y put cortas.
- Negativo para las opciones call cortas y put largas.

<sup>16</sup>Opciones (s.f.). Recuperado el 11 de abril de 2015, en [http://invderivados.com/opciones/isp\\_opc05.html](http://invderivados.com/opciones/isp_opc05.html)

<sup>17</sup>Opciones (s.f.). Recuperado el 11 de abril de 2015, en [http://invderivados.com/opciones/isp\\_opc05.html](http://invderivados.com/opciones/isp_opc05.html)

### 3. MARCO LEGAL Y EVOLUCIÓN DEL RIESGO DE MERCADO, CON RESPECTO A BASELEA

En desarrollo de sus operaciones, las entidades sometidas a la inspección y vigilancia (entidades vigiladas) de la Superintendencia Financiera de Colombia (SFC) se exponen al riesgo de mercado, el cual en caso de materializarse puede llegar a afectar la estabilidad y la viabilidad financiera de las mismas y del sistema financiero en su integridad.

Con el fin de evitar las anteriores situaciones, la SFC considera necesario que las entidades vigiladas desarrollen e implementen un Sistema de Administración de Riesgo de Mercado (SARM), que les permita identificar, medir, controlar y monitorear eficazmente este riesgo. Dicho sistema deberá permitir a las entidades vigiladas la adopción de decisiones oportunas para la adecuada mitigación del riesgo y, cuando ello sea aplicable, determinar el monto de capital adecuado que guarde correspondencia con los niveles de riesgo de cada entidad.

#### SARM<sup>18</sup>

El SARM es el sistema de administración de riesgo que deben implementar las entidades vigiladas con el propósito de identificar, medir, controlar y monitorear el riesgo de mercado al que están expuestas en desarrollo de sus operaciones autorizadas, incluidas las de tesorería, atendiendo su estructura y tamaño. El SARM se instrumenta a través de las etapas y elementos establecidos en el presente capítulo.

El SARM que implementen los establecimientos de crédito, las instituciones oficiales especiales, los organismos cooperativos de grado superior, las entidades de seguros generales para las inversiones que respaldan sus reservas técnicas y el correspondiente a las operaciones de cuenta propia y recursos propios de las sociedades comisionistas de bolsas de valores, debe permitirles gestionar adecuadamente su riesgo de mercado y calcular el monto de capital que deben mantener para cubrirlo.

El SARM que implementen las sociedades fiduciarias, las sociedades administradoras de fondos de pensiones y de cesantía, las sociedades administradoras de inversión, las entidades administradoras del régimen solidario de prima media, las compañías de seguros de vida, el correspondiente a los activos financieros de libre inversión de las entidades de seguros generales y las sociedades de capitalización, debe permitirles gestionar en forma independiente el riesgo de mercado tanto para el libro de tesorería de la entidad como para los fondos o carteras colectivas que administran. Esta última instrucción también

aplicará para los fondos o carteras colectivas administrados por las sociedades comisionistas de bolsa de valores.

Es deber de las entidades vigiladas revisar periódicamente las etapas y elementos del SARM a fin de realizar los ajustes que consideren necesarios para su efectivo, eficiente y oportuno funcionamiento, de forma tal que atiendan en todo momento las condiciones particulares de la entidad y las del mercado en general.

- Etapas de la administración del riesgo de mercado

- ✓ Identificación
- ✓ Medición
- ✓ Control
- ✓ Monitoreo

- Elementos del SARM

El SARM que implementen las entidades debe tener como mínimo los siguientes elementos:

- ✓ Políticas
- ✓ Procedimientos
- ✓ Documentación
- ✓ Estructura organizacional
- ✓ Órganos de control
- ✓ Infraestructura tecnológica
- ✓ Divulgación de información

#### Tipos de riesgo

##### ➤ Riesgo de mercado

Al igual que con las enmiendas de Basilea I, los bancos están autorizados a calcular sus requerimientos de capital por riesgo de mercado mediante una medida regulatoria de Valor en Riesgo (VeR) o su propia medida VeR (en caso de usar medidas propietarias, deben contar con aprobación regulatoria).

Uno de los principales objetivos de muchas instituciones financieras es la generación de beneficios a través de la inversión en los mercados financieros globales. Este negocio, por su naturaleza, se basa en la incertidumbre de los precios: la incertidumbre de saber si los precios del mercado se moverán en una dirección favorable o adversa.

La incertidumbre de los precios es el mecanismo que permite lograr beneficios o pérdidas; al riesgo de pérdidas asociado a esta incertidumbre se lo conoce como riesgo de mercado. Este riesgo refleja la incertidumbre del precio futuro de un activo. Los factores que afectan el riesgo de mercado son complejos. Por ejemplo, al invertir en acciones de una empresa deben considerarse factores de riesgo de mercados directos e indirectos.

<sup>18</sup>Capítulo XXI - Reglas relativas al sistema de administración de riesgo de mercado – Superintendencia Financiera de Colombia

Los factores directos son aquellos que reflejan directamente el desempeño de una empresa, como la solidez de su balance, su visión y el empuje de su equipo directivo. Los factores indirectos son aquellos que afectan indirectamente el desempeño de una empresa, como los niveles de las tasas de interés, los eventos económicos, la política, la opinión del sector y los efectos ambientales.

La industria de servicios financieros aprovecha de la existencia del riesgo de mercado para obtener beneficios. El objetivo de la gestión de este riesgo no es erradicarlo, sino entenderlo y cuantificarlo. Si esto se lleva a cabo con precisión, se puede tomar una decisión informada sobre qué tan aceptable es el riesgo y, por lo tanto, si se trata de una buena inversión. Como al hacer esto de manera correcta se logran grandes beneficios, las instituciones financieras han invertido mucho en investigación, herramientas y conocimientos para tratar de predecir el comportamiento futuro de sus inversiones.

La necesidad de entender este riesgo de mercado también es importante para fijar los precios de algunos productos financieros, como futuros y opciones. Por estas razones, los métodos y las herramientas que se utilizan para medir el riesgo de mercado cada vez son más avanzados, e incluyen teorías matemáticas de vanguardia y tecnología de procesamiento informático.

El riesgo de mercado se define como: “El riesgo de pérdida debido a cambios en el valor de instrumentos financieros”. Este tipo de riesgo, puede ser subdividido en los siguientes tipos:

- **Riesgo de volatilidad**

Es el riesgo de que cambios en los precios más inciertos que lo habitual afecten los precios de los productos. Todos los instrumentos cotizados sufren esta forma de volatilidad. Esto afecta sobre todo a los precios de las opciones, porque si el mercado es volátil, la cotización de una opción es más difícil y las opciones se volverán más caras.

- **Riesgo de liquidez**

En el contexto de riesgo de mercado, es el riesgo de pérdida por no poder operar en un mercado o no obtener el precio de un producto deseado cuando se requiere. Esto puede ocurrir en un mercado tanto por la falta de oferta o de demanda, como por la escasez de creadores de mercado.

- **Riesgo de tipo de cambio**

Existe debido a movimientos adversos en los tipos de cambio. Afecta a cualquier cartera o instrumento con flujos de efectivo expresados en una moneda distinta a la moneda de base del negocio que sustenta el instrumento financiero, o cuando una cartera de inversiones incluye participaciones

en sociedades que cotizan en monedas distintas a las de base.

- **Riesgo de base**

Esto ocurre cuando una exposición al riesgo se cubre compensándola con otro instrumento que se comporta de una manera similar, pero no idéntica. Si las dos posiciones fueran verdaderamente “iguales y opuestas” no habría ningún riesgo en la posición combinada. Existe riesgo de base en la medida en que las dos posiciones no se correspondan exactamente entre sí.

- **Riesgo de tasa de interés**

Existe debido a movimientos adversos en las tasas de interés y afecta directamente a los títulos de renta fija, los futuros, las opciones y los forwards. También puede afectar indirectamente a otros instrumentos. Riesgo de mercado.

- **Riesgo de precio de producto básico**

Es el riesgo de movimientos adversos de los precios en el valor de un producto básico (commodity). El riesgo de precio de los productos básicos se diferencia considerablemente de otros factores de riesgo de mercado, porque la mayoría de ellos se comercializan en mercados donde la concentración de la oferta en manos de unos pocos proveedores puede magnificar la volatilidad de los precios.

Las fluctuaciones en la profundidad de las negociaciones en el mercado (es decir, la liquidez del mercado) a menudo acompañan y exacerban los altos niveles de volatilidad de los precios. Otros aspectos fundamentales que afectan el precio de un producto básico son la facilidad y el costo de su almacenamiento, que varían considerablemente entre los distintos mercados de productos básicos (por ejemplo, el oro, la electricidad, el trigo, etc.). Como resultado de estos factores, los precios de los productos básicos, en general, tienen volatilidades más altas y mayores discontinuidades (es decir, los momentos en que los precios saltan de un nivel a otro) que la mayoría de los valores financieros negociados.

- **Riesgo de precio de las acciones**

Los rendimientos al invertir en acciones provienen de:

- ✓ El crecimiento de capital: si a la empresa le va bien, el precio de sus acciones debería subir.
- ✓ Los ingresos: a través de la distribución de los beneficios de la empresa en forma de dividendos.
- ✓ Por lo tanto, invertir en acciones conlleva riesgos que pueden afectar a:

- ✓ El capital: el precio de las acciones puede caer, o no crecer al ritmo de la inflación o del rendimiento de otras inversiones de menor riesgo.
- ✓ Los ingresos: si la empresa no es tan rentable como se esperaba, los dividendos que paga pueden no seguir el ritmo de la inflación; de hecho, pueden caer o incluso no pagarse en absoluto. A diferencia de los cupones de los bonos, los pagos de dividendos no son obligatorios.

## **Evolución del riesgo de mercado respecto a Basilea<sup>19</sup>**

### **Basilea I, Riesgo de mercado**

Para 1996, el Comité publica una enmienda, donde incorpora al acuerdo de capital, el riesgo de mercado. Autonomías del riesgo que se estipularon de acuerdo a:

- Sensibilidad los factores de riesgo.
- Estrés de factores de riesgo.
- Valué at risk ó VaR, mirar una pérdida esperada dando un nivel de confianza X y un horizonte Y.

Posteriormente, se establece un requisito de capital por este riesgo, el cual se calcula siguiendo una metodología estándar; donde los coeficientes de riesgo se calculan por factores de hecho riesgo el plazo de instrumento. Adicional al modelo interno que se basa en el cálculo del valor al riesgo (VaR), que presenten un 99% del nivel de confianza junto con un horizonte de 10 días a un plazo igual a un año. Sin embargo el Comité permite la utilización de modelos propios de acuerdo a su caracterización estructural

$$\text{Capital} = \text{VaR} \times \text{Raíz}(10)$$

Dentro lineamientos de acuerdo, para la medición interna del riesgo de mercado se desarrolla el backtesting, como un procedimiento técnico que comprenden la precisión y validez de un modelo planteado por la administración de riesgo, para hacer estimaciones de un determinado valor contingente, mediante la comparación de las estimaciones hechas por el modelo respecto a valores reales observadas históricamente. Existen principios fundamentales para hacer el backtesting; un grado de tolerancia para la magnitud del error entre la estimación y la realidad, de una tolerancia para el número de veces que puede fallar el modelo.

### **Debilidades**

Dentro del acuerdo de 1988, se evidencia una serie de deficiencias que dieron paso a una revaluación por parte del comité a las recomendaciones ya planteadas. Una de ellas, fue la insensibilidad a la evolución de los mercados financieros dando como resultado que los bancos presentaron casos de insolvencia. Otro caso se presentó cuando los niveles de capital regulatorio eran superiores al capital económico y por lo tanto sus costos de operaciones eran superiores al estimado.

### **Basilea II**

Después de más de cinco años, destinado sábado a desarrollar un análisis profundo. El Comité de supervisión bancaria de Basilea para junio 26 del 2004 aprueba el texto; nuevo acuerdo de capital conocido como Basilea II.

Debido al vacío presente en Basilea I, donde no se reflejaban los riesgos que se debían asumir a causa de su continua evolución dentro de las entidades financieras. Que a su vez, impedía la asignación adecuada a las provisiones y arbitrajes dentro los mercados de capitales; este indicó que se infravaloraba los riesgos y se sobrevaloraban la suficiencia de capital.

Los anteriores comportamientos se contemplan en la denominada burbuja o crisis de las .com. Presentando desde 1997 hasta 2001, marcando el colapso en la situación financiera mundial, cuando las empresas que operaban la través de la red, se posesionaron en el mercado de renta variable y cautivaron a los inversionistas. Causando en los mercados financieros, la excesiva sobre valoración de las empresas, debido a la implacable especulación en las plazas bursátiles e incluso, en algunas oportunidades producto del engaño y manipulación de las cuentas empresariales de las tecnológicas.

Con esa referencia, Y El conocimiento del dinamismo de los mercados financieros, en el desarrollo de la crisis financiera nivel global, se logra evidenciar que el procedimiento de la solvencia bancaria debe abordar temas más específicos, que la simple aplicación de unos ratios mínimos y la iniciativa en el desarrollo de procedimientos internos adecuados de gestión de riesgo. Dado este contexto se implementan las nuevas recomendaciones.

Basilea II introduce nuevos elementos, para la mejora de la práctica bancaria y su respectiva regulación del capital. Su objetivo principal era estimular la gestión de los riesgos de las entidades de intermediación financiera Y de esta manera garantizar la estabilidad de los sistemas financieros y económicos. Este nuevo acuerdo consta de tres pilares que se complementan mutuamente, la exigencia de un capital mínimo, revisión supervisora, disciplina del mercado.

En el Pilar III se contempla la disciplina de Mercado, esto significa la inclusión de una transparencia necesaria dentro

<sup>19</sup>Memorias del “IV seminario internacional en mercados financieros: Basilea III y la nueva arquitectura financiera mundial” La Coruña y Madrid – España.



de las transacciones de procesos de estimación del riesgo, debido a la evolución y sofisticación de los mercados. Basilea II reitera que la información para divulgación no necesariamente debe ser auditada externamente siempre y cuando el regulador local no lo exija.

En cuanto a la frecuencia de publicación de información por parte de las entidades, el nuevo acuerdo propone que los indicadores de insuficiencia de capital y sus componentes junto con la información de exposiciones al riesgo propensa a cambiar con rapidez deben ser publicados de forma trimestral, el tipo de información general debe ser informada de forma semestral y la información cuantitativa sobre políticas de gestión de riesgo debe ser informada de forma anual.

Con estos parámetros se buscó que a partir del nuevo acuerdo, el tema de divulgación, protección de la información confidencial y estratégica, desarrollar un equilibrio.

Adicionalmente, este Pilar, contiene la estructura para fomentar la disciplina de mercado requerido a los bancos la publicidad de información, para que los agentes del mercado puedan valorar la adecuación de su capital.

### Impacto en Colombia

En Colombia se ha utilizado una sólida regulación en las entidades financieras y un eficiente esquema de supervisión; dado que sus normas, respecto a la supervisión de riesgos son de alta exigencia de cumplimiento. En algunos casos se presenta un grado mayor que los niveles recomendados por los acuerdos de Basilea; es preciso notar que en la época de los 90, debido a la apertura de capitales y los efectos de la globalización, la superintendencia bancaria expidió normas de supervisión y control con base de las recomendaciones de Basilea, enfocados a la calificación de crédito, cálculo de capital adecuado, concentración de riesgo crediticio, gestión de activos y pasivos junto con una administración de riesgo de mercado.

Actualmente, el sistema regulatorio de riesgo está dividido en cinco partes, riesgo de crédito, riesgo de mercado, riesgo operativo, riesgo de liquidez el riesgo de lavado de activos y financieros del terrorismo. Como primera medida del requerimiento mínimo de capital establecido para el sistema colombiano adoptando las medidas de Basilea se indica así

$$NS = (PT/APNRC + 100/9 (RM + RO)) \geq 9\%$$

Donde:

**PT** = patrimonio técnico

**APNRC** = activo ponderado por el nivel de riesgo de crédito

**RM** = riesgo de mercado calculado por métodos estándares o internos

**RO** = riesgo operativo calculado por métodos estándares o internos

### Implementación en Colombia

En lo relacionado, con el riesgo de mercado el banco de la República bajo el decreto 1720 del 2001 establece el cálculo del riesgo de mercado, y lo hace obligatorio para toda entidad bancaria partir del primero de enero del 2002. Dentro de este crédito se define los parámetros a incluir dentro del marco regulatorio colombiano basándose en las recomendaciones dadas por el Comité Basilea.

Las entidades bancarias vigiladas por la súper bancaria deberán utilizar metodologías que para el efecto hayan determinado el ente regulador, no obstante los establecimientos de crédito podrá solicitar a este organismo de control un permiso para implementar un modelo de medición propio, que incluya los requisitos mínimos que se establezcan.

El **SARM** un sistema de administración de riesgos de mercado será partir de octubre del 2007, estableciendo modelos de referencia dependiendo de la actividad económica y estructura financiera que contengan las diferentes instituciones financieras, como es el caso de los establecimientos de crédito por un lado, y las administradoras de fondos.

Este sistema busca la mejora continua de las relaciones de solvencia de las entidades como producto crediticio al igual que a todas aquellas sociedades comisionistas de bolsa. También se contempla la incorporación de una nueva herramienta de análisis que apoya al inversionista en el momento de elegir el fondo más adecuado su perfil. Adicional a ello, con el SARM se logra implementar los parámetros para la realización de las operaciones de tesorería dentro de la misma disposición del sistema.

La superintendencia financiera del año 2010 expide la circular 42, en la cual se evidencia una regulación detallada y prudencial del riesgo de mercado. A su vez, busca complementar con estándares adicionales para la minimización de eventos asociados a operaciones que involucren este riesgo

## 4. DESARROLLO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo aporta el desarrollo de un mercado de opciones a la mitigación del riesgo y análisis de información en un mercado bursátil?

¿Cómo pueden los factores de medición hacer una medición más ajustada a la realidad, para que la toma de decisiones sea más acertada?

A continuación se dispondrá a describir la aplicación del proyecto desarrollado, tendiente a contestar y plantear una solución de los anteriores cuestionamientos planteados dentro del problema de investigación.

#### 4.1. Descripción de la información

Las variables utilizadas para el desarrollo del modelo, fueron los históricos de los precios desde 18-Enero de 2008 hasta 15 Mayo de 2015, del índice COLCAP y su correspondiente Futuro, al igual que las 20 acciones que lo componen de acuerdo a la canasta vigente en el primer trimestre del año 2015, como tasa libre de riesgo dado que el proyecto se enfoca al corto plazo, se eligió la tasa de los TES que vencen en Octubre de 2015.

Esta información se extrajo directamente de la plataforma Bloomberg, dichas variables se eligieron dado que se pretende abarcar el estudio del mercado accionario colombiano y en concordancia con el marco referencial, realizar una simulación de un mercado de opciones lo más completa posible.

Como parámetros del mercado, se eligen como objeto de estudio, las opciones tipo call (compra) y put (venta), con el fin de identificar aquellos activos que tengan tendencia al alza; por tal motivo el mercado de opciones que se simulo a 30, 60 y 90 días es para opciones en las cuales se espere que el precio de cotización del subyacente aumente.

#### 4.2. Análisis descriptivo

A los precios de cada uno de los activos mencionados anteriormente mencionados se les aplico logaritmo natural a la división del precio de cotización del día “x” entre el precio de cotización de x-1 para hallar los rendimientos diarios de cada uno, durante el horizonte de tiempo analizado.

A estos rendimientos se les haya el promedio y desviación estándar, para realizar las primeras identificaciones de rentabilidad y volatilidad del mercado accionario colombiano.

Durante el modelo para pronóstico de datos se asume el supuesto de normalidad y en el método de valoración de opciones, la propiedad log normal, con el fin de determinar el valor correspondiente del delta y el gamma, para lo cual se realiza la primera y segunda derivada de la formula Black-Scholes.

#### 4.3. Descripción metodológica

##### Simulación de Montecarlo:

Se utiliza como herramienta de pronóstico de datos, por medio de la generación de números aleatorios. Con las últimas cotizaciones de cada uno de los activos se aplica la fórmula descrita en el párrafo anterior para pronosticar los 90 precios siguientes de cotización para cada uno de los activos, de los cuales se extraen los precios a 30, 60 y 90 días, los cuales serán utilizados como Strikes en la simulación para el mercado de opciones.

##### Método de Valoración de Opciones Black-Scholes:

Se utiliza este método para hallar el valor de la prima de las opciones de los 22 activos en los tres rangos de tiempo anteriormente mencionados, para esto se usaron como spots los precios más recientes de las cotizaciones, como strikes los precios hallados por simulación de Montecarlo, la volatilidad histórica de los rendimientos y la tasa libre de riesgo del TES que vence en octubre de 2015.

$$c = S_0 N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2)$$

$$p = X e^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/X) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0/X) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

##### Delta y Gamma

Se aplican la primera y segunda derivada correspondiente a la fórmula de valoración de opciones de Black- Scholes para obtener los valores de los Delta y Gamma respectivamente, en los tres periodos de tiempo para los 22 activos estudiados, para este cálculo se utiliza la misma información que para la valoración de opciones del punto anterior, con el fin obtener el mercado de opciones totalmente simulado. Con toda la información que brinda a un inversionista un mercado desarrollado.

##### ➤ Delta

$$\Delta = \frac{\partial C}{\partial S}$$

En el caso de una opción de compra:

$$\Delta = e^{-R(T-t)} N(d_1)$$

#### ➤ Gamma

$$r = \frac{\partial \Delta}{\partial S}$$

En el caso de una opción de compra:

$$r = \frac{\partial^2 C}{\partial S^2}$$

#### 4.4. Modelación

Como se mencionó anteriormente se realizó la simulación de un mercado de opciones con la finalidad de evidenciar la información que puede brindar un mercado desarrollado, en la toma de decisiones con respecto al riesgo, volatilidad y su sensibilidad, tomando como referencia el mercado accionario colombiano utilizando Matlab, el cual brinda al usuario la facilidad de crear y usar formulas personalizadas para la obtención de resultados, en valores y gráficos.

Paso a Paso para el uso del programa:

##### • Primera Función: SMF

Entradas: Datos Históricos Activos (Colcap, Futuro, Acciones), y cantidad de simulaciones que se desean realizar.

Proceso: se realiza la simulación de montecarlo para pronosticar los precios futuros de los activos, a 30,60 y 90 días explicados en el punto 4.3.

Salidas: k1, k2, k3, para cada uno de los 22 activos se generan 3 valores futuros que serán utilizados como precios strikes de las opciones en la siguiente función.

##### • Segunda Función: MBS66O

Entradas: k1, k2, k3, r = tasa libre de riesgo, Datos Históricos Activos (Colcap, Futuro, Acciones)

Proceso: Se realiza la valoración de opciones por medio de la metodología de Black and Scholes para cada uno de los activos en cada uno de los tiempos anteriormente mencionados.

Salidas: Se obtiene una matriz de resultado con el valor de los valores correspondientes a las primas generadas por cada uno de los activos, en los tres periodos de medición ya descritos.

##### • Tercera Función: Delta66O

Entradas: k1, k2, k3, r = tasa libre de riesgo, Datos Históricos Activos (Colcap, Futuro, Acciones)

Proceso: Delta y Gamma son el resultado de realizar la primera y segunda derivada respectivamente, de la función dada por el modelo de Black-Scholes.

Salidas: Delta, Gamma, matriz para cada uno de los activos en cada uno de los tiempos anteriormente mencionados.

##### • Cuarta Función: NumActivoDelta

Entradas: el número del activo, los respectivos strikes, los datos históricos, rango de tiempo de evaluación y tasa libre de riesgo.

Proceso: se genera una línea de tiempo de acuerdo a la dada por el usuario se recomienda 100 días, dado que el modelo es generado para el corto plazo y su strike máximo es 90 días. Y para cada marco de tiempo se evalúa el Delta con la primera derivada de Black-Scholes. Salidas: Grafica el Delta en 2D, para el activo seleccionado, para cada uno de los precios Strikes, en el marco de tiempo indicado. Ver (Anexo 1).

##### • Quinta Función: NumActivoGamma.

Entradas: el número del activo, los respectivos strikes, los datos históricos, rango de tiempo de evaluación y tasa libre de riesgo.

Proceso: se genera una línea de tiempo de acuerdo a la dada por el usuario se recomienda 100 días, dado que el modelo es generado para el corto plazo y su strike máximo es 90 días. Y para cada marco de tiempo se evalúa el Gamma con la segunda derivada de Black-Scholes.

Salidas: Grafica el Gamma en 2D, para el activo seleccionado, para cada uno de los precios Strikes, en el marco de tiempo indicado. Ver (Anexo 2).

##### • Sexta Función : Delta3D

Entradas: son iguales a las de la fórmula 4, enfocada al delta.

Proceso: se genera una línea de tiempo de acuerdo a la dada por el usuario se recomienda 100 días, dado que el

modelo es generado para el corto plazo y su strike máximo es 90 días. Y para cada marco de tiempo y cada spot se evalúa el Delta con la primera derivada de Black-Scholes.

Salidas: Grafica el Delta en 3D, para el activo seleccionado, para cada uno de los precios Strikes, en el marco de tiempo indicado y para cada tiempo un respectivo precio spot. Ver (Anexo 3).

- **Séptima Función: Gamma3D.**

Entradas: son iguales a la quinta función, enfocada al Gamma.

Proceso: se genera una línea de tiempo de acuerdo a la dada por el usuario se recomienda 100 días, dado que el modelo es generado para el corto plazo y su strike máximo es 90 días. Y para cada marco de tiempo y cada spot se evalúa el Gamma con la segunda derivada de Black-Scholes.

Salidas: Grafica el Gamma en 3D, para el activo seleccionado, para cada uno de los precios Strikes, en el marco de tiempo indicado y para cada tiempo un respectivo precio spot. Ver (Anexo 4).

#### **4.5. Análisis de resultados**

Delta: el resultado grafica un Delta para cada precio strike, en un marco de tiempo de 100 días y en su spot correspondiente a medida que aumenta el tiempo.

En la gráfica se indica en qué periodo de tiempo y a qué precio spot los cambios en el precio del subyacente reaccionan y adicional con que fortaleza lo hacen.

El primer análisis que se puede obtener es cuántos días se demora el precio del subyacente en llegar a su precio strike, ya sea antes, en el momento justo o después de este, así se determina que tanta sensibilidad presenta el precio del subyacente en el corto plazo.

Si el delta pasa de 0 a 1 en un periodo de tiempo muy corto esto significa que cuando el precio del subyacente alcance ese punto en un momento de tiempo determinado, los cambios en el precio del subyacente se vuelven mucho más agresivos.

Si el delta pasa de 0 a 1 en un periodo de tiempo normal esto significa que cuando el precio del subyacente alcance ese punto en un momento de tiempo determinado, los cambios en el precio del subyacente siguen la tendencia y cambian de poco a poco ni más, ni menos agresivos.

Si el delta pasa de 0 a 1 en un periodo de tiempo muy largo esto significa que cuando el precio del subyacente

alcance ese punto en un momento de tiempo determinado, los cambios en el precio del subyacente no son agresivos, por el contrario el movimiento es muy poco y se demorara más tiempo en evidenciarse un cambio significativo en el precio.

#### **Gamma:**

El Gamma es una medida de corrección del Delta, para que la medición sea más precisa, se interpreta como: El grafico obtenido de esta variable, se puede asociar con el de una distribución normal.

La cola izquierda se levanta en el mismo punto de tiempo cuando el valor del delta es 0 y baja la cola derecha cuando este llega a 1.

Entre más alta sea la punta del Gamma mayor será el nivel de corrección y el Delta será mucho más sensible y viceversa.

Si existe un Delta rápido y Gamma alto significa que es posible que los cambios en el precio del subyacente sean más agresivos.

Si el Delta es rápido pero Gamma bajo nos puede que la sensibilidad del cambio del precio en el subyacente sea no tan agresiva.

Un Delta lento con Gamma alto, muestra que el subyacente puede ser más sensible de lo esperado. Por último un Delta lento con Gamma bajo indicara que los cambios que se presentaran en el precio del subyacente son mínimos.

#### **4.6 Utilidad y aplicación financiera de los resultados.**

Los inversionistas que deseen operar en el mercado accionario colombiano pueden utilizar esta herramienta de análisis, basada en la sensibilidad otorgada por Delta y Gamma de las opciones financieras, para estructurar sus portafolios e inversiones de acuerdo a su perfil de riesgo.

Permite verificar los cambios de las acciones en corto plazo y así determinar si desea una inversión riesgosa o invertir en una acción no tan sensible.

Determina el tiempo que tarda el precio de la acción en alcanzar su strike si es más propensa a superarlo antes o después de los días establecidos.

Brinda un punto de vista diferente a las tradicionales medidas de volatilidad y riesgo para los analistas e inversionistas.

Otorgará la facilidad de verificar las acciones que tengan o no cambios muy sensibles en el corto tiempo y así

determinar si desea una inversión riesgosa en un tiempo corto o invertir en una acción no tan sensible para un portafolio a largo plazo.

Adicional a la información de lo que se demora en superar sus respectivos precios strikes, si es más propensa a superarlos antes, durante, o después de los 30, 60 y 90 días, en dado caso que existiera un mercado de opciones organizado y desarrollado.

Dar un punto de vista diferente a las tradicionales medidas de volatilidad y riesgo para los inversionistas y efectivamente se evidencie la necesidad y la cantidad de información que puede brindar un mercado de opciones desarrollado en Colombia.

Con base en la simulación realizada de un mercado de opciones, para medir el comportamiento de las acciones del mercado colombiano, es posible establecer que del total de 22 activos analizados, en 6 de ellos la simulación arroja una tendencia al alza al término de cada uno de los periodos analizados es decir que son más propensos a llegar a su precio strike en el momento de tiempo determinado, y se obtiene la información aplicable a la toma de decisiones (Ver anexo 5).

Mientras que para los demás activos, los resultados no eran aplicables o arrojaron una tendencia a la baja y esto asociado a que la única manera que existe en Colombia de realizar una posición en corto, de acuerdo al servicio creado por la bolsa de valores y Deceval<sup>20</sup>, es lo que se denomina como “Transferencia Temporal de Valores (TTV)”<sup>21</sup>, y dado que para el caso de este estudio no es posible trabajar con posiciones en corto, estos activos se descartaron.

## 5. CONCLUSIONES

- La importancia de incluir, además de Delta ( $\delta$ ), la derivada de segundo orden en la medición del riesgo en opciones, es porque Gamma ( $\gamma$ ) calcula la estabilidad de Delta. Es decir, mientras Delta estima el riesgo asociado con el activo subyacente, Gamma mide el riesgo asociado con la opción, al mostrar con qué velocidad o rapidez cambia el precio de la misma, permitiendo tener un panorama más completo del riesgo de la posición. De acuerdo a esto, y analizando los demás factores de las opciones (Vega, Rho, Theta)

los cuales su estudio no va enfocado al análisis del comportamiento de los activos subyacentes, se puede concluir que la metodología de estudio que más se acerca a las necesidades del proyecto se obtiene por medio del Delta y el Gamma.

- Es posible establecer de acuerdo al mercado de opciones simulado, que las acciones a las cuales esta metodología es más aplicable y de las cuales se obtienen más resultados enfocados a la toma de decisiones es únicamente el 27%, dado que fueron aquellas que después de realizada la simulación, presentaron una tendencia al alza en su activo subyacente.
- Es importante mencionar que la mejor metodología para medir el riesgo de mercado no es aquella que sea más compleja en sus supuestos, variables e implementación, sino aquella que mejor se ajuste a las necesidades de la entidad, los productos y el mercado, siempre y cuando cumpla con los requerimientos mínimos de precisión y eficacia en su estimación, como objetivo principal que persiguen los administradores en la gestión del riesgo de mercado.

## 6. RECOMENDACIONES

- Dado el caso en el futuro que se implementen en Colombia las posiciones en corto (o venta) para acciones, sería posible simular el mercado con opciones cuyo objetivo sea que el precio del activo subyacente disminuya; lo cual abriría la posibilidad de usar los deltas negativos, y así poder analizar por medio de la metodología de letras griegas un mercado que se encuentre a la baja.
- Para el desarrollo de la simulación y valoración podrían utilizarse diferentes metodologías de volatilidades, las cuales dependerán de las necesidades específicas que pueda tener determinada entidad. Es aconsejable realizar estudios sobre otros tipos de cubrimientos con derivados, para tratar de incentivar el uso de ellos dentro del mercado Colombiano. La creación de portafolios con Futuros, Opciones, Swaps, entre otros.

<sup>20</sup>Depósito Centralizado de Valores de Colombia -DECEVAL S.A.-, una institución encargada de la Custodia, Administración, Compensación y Liquidación de Valores en depósito de Títulos Valores de contenido crediticio, de participación, representativos de mercancías e instrumentos financieros que se encuentren inscritos en el Registro Nacional de Valores y Emisores -RNVE-, ya sea que se emitan, negocien o registren localmente o en el exterior.

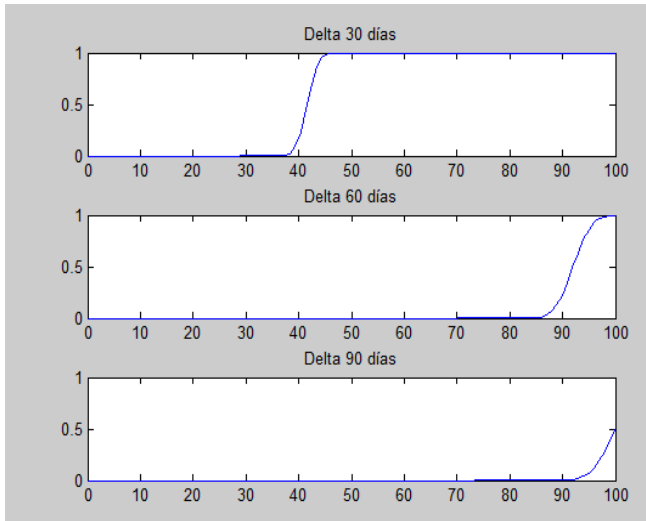
<sup>21</sup>Permite a los inversionistas de renta variable realizar ventas en corto, facilitando la realización de estrategias de arbitraje y cobertura.

## REFERENCIAS

- Neftci, S.N. (2008) *Ingeniería Financiera* (1ra Ed.). México D.F., México: McGraw-Hill Interamericana.
- Schlüchtermann, G. & Pilz, S. (2010) *Modellierung derivativer finanzinstrumente* (1ra Ed.). Munich, Alemania: Vieweg + Teubner Verlag.
- Hull, J.C. (2009) *Introducción a los mercados de futuros y opciones* (4ta Ed.). Madrid, España: Pearson – Prentice Hall.
- Hull, J.C. (2009) *Options, Futures and other Derivatives* (7ma Ed.). Estados Unidos: Ed. Pearson – Prentice Hall.
- Otras Fuentes:**
- Arboleda, C.M. (2014) *Métodos paramétricos de medición del valor en riesgo, aplicados a opciones financieras sobre divisas*. Tesis de maestría no publicada. Universidad de Medellín, Medellín, Colombia. Recuperado el 04 de abril de 2015, de <http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1169/M%C3%A9todos%20param%C3%A9tricos%20de%20medici%C3%B3n%20del%20valor%20en%20riesgo,%20aplicados%20a%20opciones%20financieras%20sobre%20divisas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Albarracín, E.I. & Villamil, F.A. (2015) *Creación de un mercado de opciones estandarizadas en Colombia: justificación y propuesta de implementación*. Tesis de maestría no publicada. Universidad EAN, Bogotá, Colombia. Recuperado el 05 de abril de 2015, de <http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/4626/AlonsoFernando2013.pdf?sequence=5>
- Cayón, E. & Sarmiento, J. (2005) *Análisis de opciones reales: Un enfoque delta-gamma para la evaluación de proyectos de inversión real*. Tesis de maestría no publicada. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Recuperado el 05 de abril de 2015, de <http://www.javeriana.edu.co/decisiones/Julio/documentos/opciones.pdf>
- Memorias del “IV seminario internacional en mercados financieros: Basilea III y la nueva arquitectura financiera mundial” La Coruña y Madrid – España.
- Rodríguez, L. J. (2011) *Simulación, Método de Montecarlo*. Recuperado el 11 de abril de 2015, en [https://www.uclm.es/profesorado/licesio/Docencia/mcoi/Tema4\\_guion.pdf](https://www.uclm.es/profesorado/licesio/Docencia/mcoi/Tema4_guion.pdf)
- Carrasco, H. (s.f). *Simulación, algunos métodos y aplicaciones*. Recuperado el 11 de abril de 2015, en <http://www.ccee.edu.uy/jacad/2012/x%20area%20y%20mesa/METODOS%20CUANTITATIVOS/Mesa%202/1-Simulacion,%20algunos%20metodos%20y%20Aplicaciones.pdf>
- Simulación de Montecarlo de un subyacente con MATLAB* (s.f.). Recuperado el día 19 de abril de 2015, de <http://www.finanzascuantitativas.net/2011/11/14/simulacion-de-montecarlo-de-un-subyacente-con-matlab/>
- Beltrán, F. & Gómez, J.R. (s.f). *Control de riesgo en portafolios mediante el uso de opciones sobre modelos de volatilidad estocástica*. Tesis de maestría no publicada. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Recuperado el 19 de abril de 2015, de [http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/572/mi\\_995.pdf?sequence=1](http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/572/mi_995.pdf?sequence=1)
- Córdoba, J. (2008) *Guía Colombiana del mercado de valores*. Recuperado el 11 de abril de 2015, en [http://colombiacapital.com.co/wp-content/files\\_mf/142178561306\\_Gu%C3%ADaColombianadelMercadodeValores.pdf](http://colombiacapital.com.co/wp-content/files_mf/142178561306_Gu%C3%ADaColombianadelMercadodeValores.pdf)
- Opciones* (s.f.). Recuperado el 11 de abril de 2015, en [http://invderivados.com/opciones/isp\\_opc05.html](http://invderivados.com/opciones/isp_opc05.html)

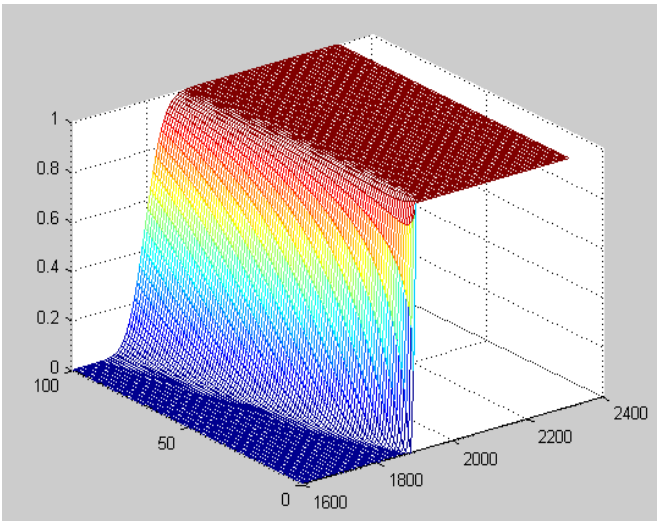
ANEXOS

Anexo 1

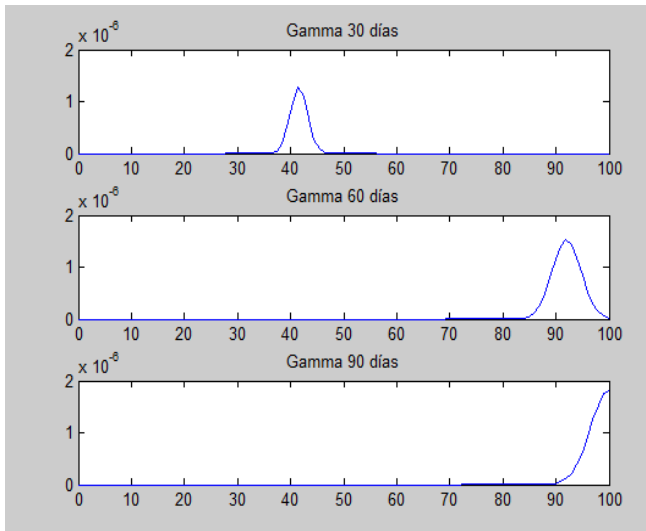


Anexo 3

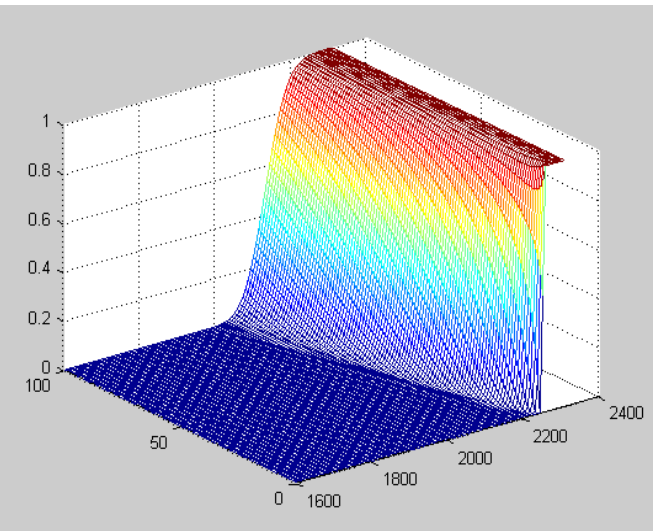
30 días

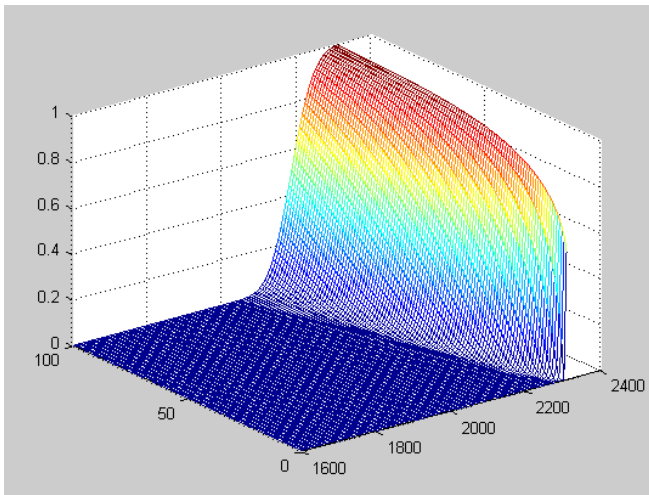
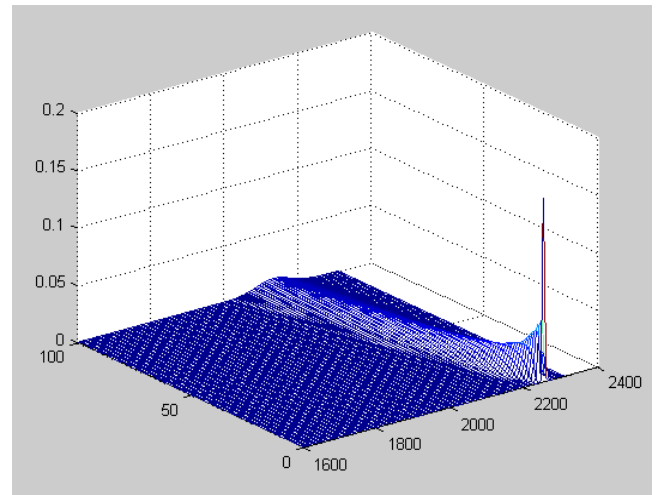
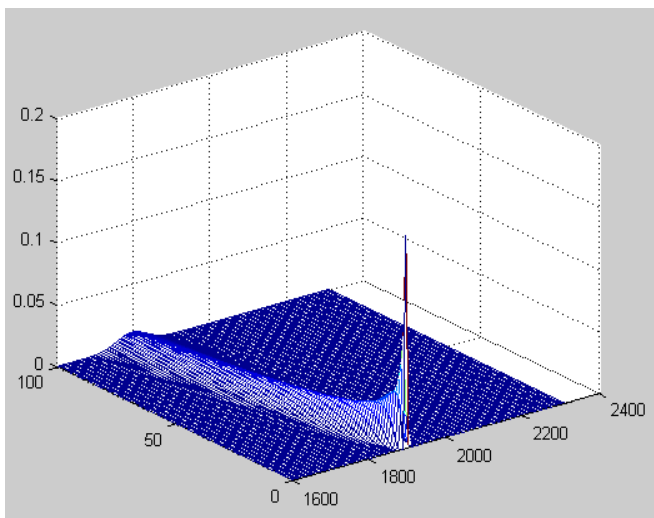
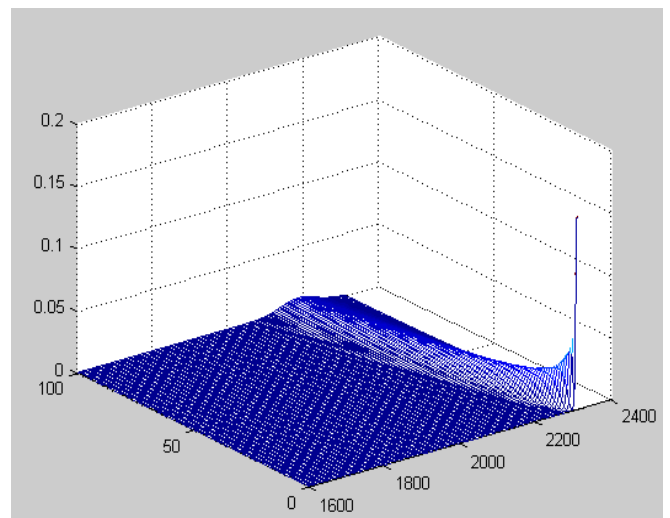


Anexo 2



60 días



**90 días****60 días****Anexo 4****30 días****90 días**



## Anexo 5

Factor	Tiempo (Días)	Ecopetrol	PFAval	Banco de Bogotá	Canacol	Pacific Rubiales	BVC
SPOT	15 de mayo	1.965,00	1.245,00	63.000,00	6.240,00	12.080,00	20,10
Delta	30	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000
	60	1,0000	1,0000	0,0146	0,0852	0,0009	1,0000
	90	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000
Gamma	30	41,1085	77,8741	52,9200	24,0928	23,4328	38,1801
	60	29,0681	55,0653	37,3688	16,6269	16,5694	26,9974
	90	23,7340	44,9606	30,5534	13,9100	13,5290	22,0433
Strike 1	30	2.114,11	1.300,59	67.808,42	6.657,65	14.013,74	21,18
Strike 2	60	2.050,10	1.354,46	69.722,89	8.316,47	16.517,47	23,28
Strike 3	90	2.466,33	1.381,33	70.778,36	10.391,15	22.603,91	28,50